La musique comme outil de stimulation cognitive

Aline Moussard[1,2*], Françoise Rochette[1] et Emmanuel Bigand[1,3]
[1] *Laboratoire LEAD – CNRS UMR 5022, Université de Bourgogne, Dijon, France*
[2] *Laboratoire BRAMS, Université de Montréal, Montréal, Canada*
[3] *Institut Universitaire de France*

RÉSUMÉ

Les effets de la pratique et de l'écoute musicale sur le fonctionnement cognitif et cérébral ont été grandement étudiés depuis les 20 dernières années. Les études comportementales et de neuroimagerie ont mis en évidence une importante réactivité du cerveau aux stimulations musicales et de nombreux chevauchements anatomiques et fonctionnels entre les traitements musicaux et des compétences non musicales (linguistiques, motrices et émotionnelles notamment). Parallèlement à ces travaux, d'autres études ont cherché à montrer et à expliquer des effets bénéfiques de transfert de la pratique ou de l'écoute musicale sur la cognition et la motricité, chez des sujets sains comme dans des populations pathologiques. Cette revue de littérature vise à intégrer l'ensemble de ces données pour mieux comprendre pourquoi la musique constitue un outil de stimulation cognitive avantageux et comment elle peut être utilisée dans des perspectives thérapeutiques novatrices, tout particulièrement dans le champ de la neuropsychologie cognitive.

Music for cognitive stimulation

ABSTRACT

The effects of practicing and listening to music on cognitive and neural function have been highly studied during the past twenty years. Both behavioral and neuroimaging data have revealed the extent and plastic nature of the brain's response to musical

*Correspondance : Aline Moussard ; Françoise Rochette, LEAD CNRS – UMR 5022, Université de Bourgogne, Pôle AAFE, Esplanade Érasme, BP 26513, 21065 DIJON CEDEX. E-mail : aline.moussard@u-bourgogne.fr ; francoise.rochette@u-bourgogne.fr
Les deux premiers auteurs ont également contribué à la rédaction du présent article.
Remerciements. Ce travail a été supporté par une bourse de recherche du réseau canadien A*uditory Cognitive Neurosciences* (ACN-Create) attribuée à Aline Moussard. Nous remercions également le programme ANR Blanc (*Does Music boost the Brain?*), ainsi que le programme européen EBRAMUS. Nous souhaitons enfin remercier chaleureusement Anna Zumbansen pour ses relectures éclairées du manuscrit.

stimulation. Furthermore, some degree of overlap has been found, both in neuro-anatomy and function, between musical processes and those of non-musical abilities (especially linguistic, motor and emotional). Concurrently, numerous studies have sought to demonstrate and explain the beneficial effects of practicing or listening to music on both the cognitive and motor abilities of healthy subjects and patients. This literature review aims to integrate these data in order to understand how music can be a relevant tool for cognitive stimulation and how it could be used as part of innovative therapeutic approaches, especially in the field of cognitive neuropsychology.

Durant les 20 dernières années, les sciences cognitives de la musique se sont focalisées sur les effets de la musique sur le fonctionnement cérébral des sujets sains ou pathologiques. Cet article présente l'état actuel de ces études, selon 3 grands axes. La première section expose d'une part en quoi l'humain semble bénéficier d'un pré-équipement biologique pour le traitement de la musique, et d'autre part comment la musique parvient à stimuler le cerveau d'un point de vue physiologique au même titre que des stimuli biologiquement pertinents, et à modifier anatomiquement et fonctionnellement le cerveau des musiciens aguerris, ou même novices.

La seconde section rend compte des effets bénéfiques de l'écoute ou de la pratique musicale sur des performances cognitives non musicales. Des liens importants ont été montrés entre les opérations dirigées vers la musique et les autres compétences mentales. Jouer ou écouter de la musique peut en effet requérir différents aspects de la cognition (attention, mémoire, mémoire de travail), de la perception (auditive, voire spatiale), de la motricité, ainsi que du réseau émotionnel. En stimulant ces différentes activités cérébrales, la musique a la possibilité d'améliorer leur fonctionnement, y compris dans des tâches non musicales.

La dernière section de cet article considère les travaux dans les domaines cliniques qui ont utilisé la musique comme moyen de remédiation d'atteintes cognitives, perceptives ou motrices, consécutives à des lésions cérébrales. L'ensemble de ces études suggère que la musique constitue un outil de stimulation probant, dont les effets peuvent être expliqués à différents niveaux. En plus de proposer des situations ludiques, qui favorisent l'éveil et la motivation, certaines composantes musicales peuvent être exploitées pour stimuler plus spécifiquement des fonctions cérébrales ciblées (par exemple, le rythme pour la production du mouvement). Ces recherches ouvrent des perspectives intéressantes pour les stratégies de stimulation et remédiation cognitives, les thérapies musicales se trouvant être compatibles avec les problématiques du milieu clinique (coût financier, contraintes de temps, accessibilité aux patients).

L'IMPORTANTE RÉACTIVITÉ DU CERVEAU HUMAIN À LA MUSIQUE

La place de la musique dans l'évolution de l'espèce humaine a fait l'objet de nombreux débats, qui se trouvent aujourd'hui relancés par les découvertes récentes en neurosciences cognitives. Selon Pinker (1997), la musique serait une activité humaine plaisante qui emprunterait les fonctions cérébrales qui ont été sélectionnées par l'évolution (le langage tout particulièrement). Elle serait une sorte de « cerise sur le gâteau » sans fonction adaptative et qui pourrait disparaître sans modifier le cours de l'humanité. Pour d'autres auteurs, la musique aurait une importance biologique et psychologique telle qu'elle pourrait avoir joué un rôle adaptatif dans l'évolution de l'espèce. Certains suggèrent qu'elle aurait précédé l'émergence de fonctions cognitives sophistiquées telles que le langage articulé (Mithen, 2009 ; Peretz, 2006). L'existence de flûtes fabriquées dans de l'os, exhumées lors de fouilles archéologiques et datées de 40 000 ans, démontre que la musique n'est pas une activité de loisir récente et il est fort probable que des formes non instrumentées de musique soient apparues il y a 250 000 ans (voir Huron, 2001 ; Mithen, 2005). La musique est aussi présente dans toutes les cultures, et certains comportements musicaux universaux, comme l'utilisation du chant par les mères pour communiquer avec les bébés (Trehub & Schellenberg, 1995), sont en faveur d'une hypothèse biologique évolutionniste de la musique pour l'humain. Au XIX^{e} siècle, Darwin (1871) suggérait déjà son importance probable pour la sélection du partenaire. Plus récemment, les études en neurosciences cognitives ont souligné son rôle crucial pour la communication émotionnelle mère-enfant (Trehub, 2003), la cohésion sociale (Peretz, 2006), et le développement cognitif (Gruhn, Galley, & Kluth, 2003). Cette approche serait soutenue par la mise en évidence d'un gène (AVPR1A) dont la présence serait corrélée aux aptitudes musicales, et qui interviendrait par ailleurs dans la régulation d'une hormone (l'arginine vasopressine) influençant les capacités d'apprentissage générales ainsi que les comportements pro-sociaux (l'amitié, l'attachement et l'altruisme ; Ukkola-Vuoti *et al.*, 2009). Ces découvertes et théories ont donc conduit de nombreuses disciplines à reconsidérer l'importance de la musique dans le développement de l'espèce humaine, soulevant par exemple la question de la part de l'inné et de l'acquis des habiletés musicales (pour des développements récents autour de ces questions, voir Mithen, 2009 ; Patel, 2010 ; Peretz, 2006 ; Trainor, 2008).

Une explication hybride consiste à concevoir la musique comme une « technologie transformationnelle de l'esprit » à l'échelle de l'espèce (Patel, 2010). La musique, comme par exemple la maîtrise du feu, ne résulterait pas d'une évolution adaptative au sens strict. Elle serait une invention humaine qui aurait eu des conséquences cruciales pour le développement cognitif, émotionnel et moteur de l'espèce. Cette invention aurait contribué à « transformer » le cerveau humain durant l'évolution, ce qui expliquerait la place qu'occupe aujourd'hui la musique dans les activités humaines. Cette première partie expose les principaux arguments en faveur de l'importance de la musique pour l'humain : la précocité de son traitement et son impact sur la neurophysiologie et la plasticité cérébrale chez l'enfant et chez l'adulte.

Précocité du traitement de la musique dans le développement

La psychologie cognitive et du développement a mis en évidence des compétences perceptives très précoces pour la perception et la cognition musicales, évoquant des prédispositions – un pré-équipement biologique – pour le traitement de ce stimulus (Trainor & Heinmiller, 1998 ; Trehub, 2003). La cochlée est fonctionnelle à la fin du 5^{e} mois de la vie fœtale et les sons qui parviennent au fœtus sont traités et mémorisés. Des airs entendus à cette étape du développement seraient reconnus par les bébés à l'âge d'un an, même s'ils n'ont pas été réécoutés entre-temps (Lamont, 2003). Les nouveau-nés démontrent des patterns d'activation cérébrale similaires à ceux des adultes non musiciens dans des tâches de perception musicale (Perani *et al.*, 2010). Ils montrent aussi une préférence pour la voix maternelle chantée plutôt que parlée (Nakata & Trehub, 2004).

Dès 6 mois de vie, les enfants présenteraient des profils comportementaux similaires à ceux des adultes dans de nombreuses tâches musicales. Ils sont par exemple capables de distinguer des modifications de hauteur (Plantinga & Trainor, 2005) et de tempo (Trehub, Schneider, & Henderson, 1995) dans une mélodie. Il semble également que, dès un très jeune âge, les enfants préfèrent les intervalles consonants plutôt que dissonants (Trainor & Heinmiller, 1998), perçoivent les structures des phrases musicales (Jusczyk & Krumhansl, 1993) et apprennent rapidement les règles de nouveaux langages musicaux (Saffran, Loman, & Robertson, 2000 ; voir aussi Hannon & Trainor, 2007, pour une revue de littérature concernant les apprentissages musicaux par enculturation chez l'enfant). Les habiletés pour discriminer et catégoriser des séquences rythmiques sont

également précoces (pour une synthèse de ces travaux chez les enfants, voir Patel, 2008b, pp. 405-408).

Enfin, les enfants sourds, après réhabilitation de leur fonction auditive par implantation cochléaire, développent rapidement des aptitudes perceptives musicales et démontrent finalement des patterns comportementaux identiques à ceux des enfants entendants ; ils peuvent également reconnaître et mémoriser des mélodies (Mitani *et al.*, 2007 ; Nakata, Trehub, Kanda, Shibasaki, & Schellenberg, 2005 ; Vongpaisal, Trehub, & Schellenberg, 2006). Ces observations soulignent l'automaticité de la mise en place des processus de traitement de la musique dès que l'audition est fonctionnelle.

La réponse émotionnelle à la musique apparaît également de façon très précoce. Dès l'âge de 9 mois, les enfants discrimineraient la valence émotionnelle des musiques qui leur sont présentées (Flom, Gentile, & Pick, 2008). À 6 ans, leurs compétences pour identifier les émotions de base dans la musique sont identiques à celles des adultes (Cunningham & Sterling, 1988 ; Terwogt & Van Grinsven, 1988, 1991). Ils se montrent capables d'utiliser des indices acoustiques comme le tempo (à partir de 5 ans) et le mode (majeur ou mineur, à partir de 6 ans) pour classer les extraits présentés en fonction de leur contenu émotionnel (Dalla Bella, Peretz, Rousseau, & Gosselin, 2001).

Impact de la musique sur la physiologie de l'enfant et de l'adulte

La musique est un vecteur d'émotion privilégié : la perception des émotions musicales semble relativement robuste d'un individu à l'autre, et très rapide (500 ms suffisent pour identifier la valence d'un extrait, voir par exemple Peretz, Gagnon, & Bouchard, 1998 ; Vieillard *et al.*, 2008). Depuis les années 1980, certaines stratégies visent à l'utiliser pour induire des émotions chez des sujets, mais les mécanismes sous-jacents sont encore peu identifiés (voir Juslin & Västfjäll, 2008, pour revue). Dans les dernières années, les études en neurosciences ont montré que ces mécanismes émotionnels sont fortement reliés à des réactions physiologiques.

Witvliet et Vrana (2007) ont testé les liens entre l'émotion ressentie et les modifications physiologiques en utilisant des échelles d'appréciation, des enregistrements électromyographiques des muscles de la face et des mesures du pouls. L'émotion musicale est évaluée en fonction de deux composantes : sa valence (positive ou négative) et sa dynamique (ou *arousal* ; stimulante ou calme). Les jugements d'appréciation montrent que la musique à valence positive semble préférée à la musique à valence

négative. Cette préférence s'accompagne d'une activité plus importante des muscles zygomatiques (impliqués dans le sourire), surtout si la musique est de dynamique stimulante. L'écoute d'une musique à valence négative et à dynamique plus calme est la condition qui produit l'activation du muscle sourcilier (plissement frontal) la plus importante. Les modifications du rythme cardiaque seraient davantage liées à la dynamique qu'à la valence des pièces écoutées. La musique joyeuse et calme est la condition qui permettrait le plus fort ralentissement du rythme cardiaque (Witvliet & Vrana, 2007 ; voir aussi Bernardi, Porta, & Sleight, 2006, et Gomez & Danuser, 2007, pour des modifications des constantes cardiovasculaires et respiratoires liées à l'écoute musicale).

L'écoute musicale module aussi les composantes neurophysiologiques associées à l'état de stress. Chez le jeune enfant, l'écoute du chant maternel régulerait le taux de cortisol sécrété par les glandes salivaires, l'augmentant ou le ramenant à une valeur moyenne (Shenfield, Trehub, & Nakata, 2003). Les mêmes effets sont retrouvés chez l'adulte. Après un stress, ce taux cesse d'augmenter lorsque les participants écoutent une musique relaxante, alors qu'il continue à augmenter pendant 30 minutes dans la condition contrôle silencieuse (Khalfa, Dalla Bella, Roy, Peretz, & Blondin, 2003). Cependant, une seconde condition contrôle serait nécessaire ici pour tester la spécificité musicale de cet effet, et vérifier qu'il n'est pas dû à une simple distraction qu'offrirait la musique comparativement à une condition neutre de silence.

D'autres effets physiologiques notoires ont été mis en évidence, notamment au niveau de la libération de dopamine (Menon & Levitin, 2005). Une étude sur le frisson musical (Blood & Zatorre, 2001) a montré que la musique recrute des systèmes neuronaux de la récompense et des émotions similaires à ceux qui sont connus pour répondre spécifiquement à des stimuli biologiquement pertinents (comme la nourriture et le sexe), et ceux qui sont activés par la consommation de drogues. Dans une étude plus récente, Salimpoor et collaborateurs (Salimpoor, Benovoy, Larcher, Dagher, & Zatorre, 2011) ont distingué deux formes de plaisir musical qui seraient supportées par des structures cérébrales distinctes : le pic émotionnel à l'arrivée d'un événement musical déterminant, souvent associé à la sensation de « frisson » et marqué par la libération de dopamine (striatum ventral et dorsal, notamment noyau accumbens droit) ; mais aussi, une forme de plaisir d'anticipation qui précède ce pic (caractérisée une augmentation progressive de l'activité du noyau caudé). Ce plaisir d'anticipation reflète la structure de la musique, dont l'expression émotionnelle repose essentiellement sur les attentes perceptives, crées par l'alternance des tensions et détentes musicales (Bigand, 2009).

La musique influencerait également la production d'hormones stéroïdes comme la testostérone (voir Fukui, 2001), ou les hormones du système immunitaire comme l'Immunoglobuline A, en augmentation lors de la pratique du chant choral (Kreutz, Bongard, Rohrmann, Hodapp, & Grebe, 2004 ; voir aussi Grape, Sandgren, Hansson, Ericson, & Theorell, 2003, pour une étude comparative des effets psychologiques et physiologiques du chant chez des chanteurs professionnels et amateurs).

Ces effets neurophysiologiques, cardiovasculaires et respiratoires peuvent expliquer pour une grande part l'effet analgésique dépendant de la valence émotionnelle des extraits musicaux. Dans l'étude de Roy et collaborateurs (Roy, Peretz, & Rainville, 2008), la résistance à une douleur thermale était augmentée lors de l'écoute de musique plaisante comparativement à une musique à valence plus négative, ou à du silence. Les auteurs proposent que la musique favoriserait la libération d'hormones opioïdes telles que la morphine. De plus, les réactions émotionnelles à la musique induisent des activations des zones cérébrales aussi impliquées dans la régulation de la douleur, telles que l'amygdale, le cortex préfrontal, le cortex cingulaire, et l'ensemble du système limbique (Koelsch, 2012 ; Peretz, 2010). Une émotion positive véhiculée par une stimulation musicale pourrait donc réguler ces activations et réduire la sensation de douleur.

L'ensemble de ces études suggère que la musique influence les fonctions émotionnelles, physiologiques et végétatives de l'organisme. En choisissant d'écouter certains morceaux, l'auditeur pourrait ainsi contribuer à réguler de façon non invasive son état physiologique et psychologique. Les effets physiologiques de la musique ne se cantonnent cependant pas à ce seul rôle de drogue douce, mais peuvent avoir des répercussions réelles sur la plasticité anatomique et fonctionnelle du cerveau. Selon Fukui et Toyoshima (2008), la musique agirait au niveau cellulaire en favorisant la neurogénèse, la régénération et la réparation des neurones et circuits neuronaux via l'ajustement des sécrétions hormonales de type stéroïdes (comme le cortisol, la testostérone et l'œstrogène), qui sont par ailleurs reconnues comme jouant un rôle dans les processus de plasticité cérébrale.

Musique et plasticité cérébrale

Les personnes musiciennes ont constitué une population idéale pour comprendre les phénomènes de plasticité liés à l'expertise musicale (voir par exemple Schlaug, 2003, Wan & Schlaug, 2010, ou Habib & Besson, 2008, pour des revues de littérature sur les modifications anatomiques et fonctionnelles issues de l'expertise musicale). La pratique musicale

requiert la séquentialité et la simultanéité de plusieurs tâches : la lecture d'un code symbolique abstrait (la partition), la planification de l'activité motrice bimanuelle, l'intégration d'un *feedback* multimodal (auditif, proprioceptif, kinesthésique). Elle implique également une précision gestuelle et métrique. Elle met en jeu les processus de mémorisation, voire d'autres fonctions lors d'improvisation. Selon Habib et Besson (2008), la pratique musicale répétée modifierait l'organisation des aires corticales relatives à ces fonctions, et ce à 3 niveaux : 1. augmentant le nombre de neurones impliqués, 2. favorisant leur degré de synchronisation temporelle, et 3. augmentant le nombre et la force des connexions synaptiques excitatrices et inhibitrices.

Les effets de l'expertise musicale s'observent tout d'abord au niveau des structures cérébrales auditives. Sur le plan macroscopique, certaines régions cérébrales diffèrent par leur densité et/ou leur surface. Les gyri de Heschl des musiciens professionnels présentent bilatéralement un volume supérieur de 130 % comparativement aux sujets non musiciens. Le planum temporale gauche des musiciens serait également plus développé, en particulier s'ils ont l'oreille absolue (Schlaug, Jäncke, Huang, & Steinmetz, 1995). La pratique musicale affecte également la manière dont sont traités les sons. Au niveau sous cortical, dans le tronc cérébral, le traitement de la fréquence fondamentale des sons est soutenu par une activation plus importante des colliculi inférieurs chez les musiciens (Musacchia, Sams, Skoe, & Kraus, 2007 ; voir Kraus & Chandrasekaran, 2010, pour revue). La comparaison des patterns électrophysiologiques corticaux révèle que les musiciens réagissent davantage aux manipulations de fréquence fondamentale et harmoniques que les novices, évoquant une plus grande sensibilité au spectre des sons (Shahin, Roberts, Pantev, & Aziz, 2007). Parallèlement, les musiciens montrent une réponse neuronale plus importante au niveau du cortex auditif droit pour le timbre de l'instrument qu'ils pratiquent, comparativement à d'autres timbres (Pantev, Roberts, Schulz, Engelien, & Ross, 2001). L'écoute passive de sons instrumentaux (piano) produit une activation corticale plus forte que celle de sons purs (dipôles plus amples de 21% à 28 %) pour les musiciens (Pantev *et al.*, 1998). D'une manière générale, les musiciens sont plus sensibles à la structure acoustique des sons musicaux, par exemple pour la discrimination de tons ou de changements subtils de contours mélodiques (par exemple, Bidelman, Krishnan, & Gandour, 2011 ; voir Besson, Schön, Moreno, Santos, & Magne, 2007, pour revue), y compris dans le vieillissement (Zendel & Alain, 2008). Ils répondent aussi à des violations de contour mélodique et de structures d'intervalles par des

amplitudes plus grandes d'onde MMN (*MisMatch Negativity*, reflétant la détection involontaire d'éléments déviants ; Pantev *et al.*, 2003).

L'activité sensori-motrice de la pratique musicale amène aussi à une réorganisation cérébrale. Les cartes corticales somesthésiques sont « façonnées » par le type d'instrument pratiqué. Elbert et collaborateurs (Elbert, Pantev, Wienbruch, Rockstroh, & Taub, 1995) ont observé une extension de la surface corticale occupée pour la représentation des deux derniers doigts de la main gauche, et en particulier de l'auriculaire, chez des violonistes (comparativement à des adultes non musiciens). De la même manière, la représentation somatosensorielle des lèvres des trompettistes est plus développée (Pantev *et al.*, 2003). La pratique musicale modifie également les régions motrices. Par exemple, le gyrus précentral des non musiciens montre généralement une asymétrie en faveur de l'hémisphère gauche (dominant) ; cette asymétrie est réduite chez les musiciens (Amunts *et al.*, 1997).

La pratique musicale modifierait aussi la densité de la matière blanche dans l'hippocampe, impliqué dans la mémoire à long terme déclarative (Groussard *et al.*, 2010). De plus, les musiciens recruteraient un réseau neuronal plus étendu que les non musiciens lors d'une tâche de mémoire sémantique musicale (reconnaissance de la familiarité de mélodies). Les auteurs proposent que ce pattern d'activation reflète une modification fonctionnelle, avec une différenciation dans les stratégies mnésiques, induite par l'expertise musicale (voir aussi Herdener *et al.*, 2010).

Ces effets d'expertise sont également visibles chez les enfants. Une étude transversale menée chez des enfants de 9 à 11 ans a montré une supériorité du volume de la substance grise dans la région du cortex sensorimoteur (liée à la pratique motrice) et des régions occipitales (liée à la lecture de partitions) chez les enfants musiciens après 4 ans de pratique en moyenne, comparativement aux enfants non musiciens (Schlaug, Norton, Overy, & Winner, 2005).

La pratique musicale induirait aussi une augmentation du volume de substance grise au niveau des aires périrolandiques (pariétale antérieures supérieures et cortex prémoteur) du gyrus temporal inférieur et de régions visuelles, régions interconnectées assurant l'intégration des informations sensorielles multimodales (Gaser & Schlaug, 2003). Concernant la substance blanche, la partie antérieure du corps calleux qui assure la communication inter-hémisphérique des aires primaires sensorimotrices, prémotrices, motrices supplémentaires, et préfrontales est significativement plus développée chez les musiciens. Les aires pariétales, temporales et occipitales communiquent par une partie plus postérieure du corps calleux,

également de taille plus importante chez les musiciens (Lee, Chen, & Schlaug, 2003).

Notons cependant que les études comparant les musiciens et non musiciens sont souvent des études transversales. De ce fait, les observations qui en sont tirées sont corrélationnelles, et ne permettent pas de conclure d'un effet direct de l'entraînement musical sur l'anatomie et le fonctionnement du cerveau ; ces effets pourraient être dus également à des variables confondantes (et difficilement contrôlables), comme le niveau socio-culturel et de scolarité. Elles ne permettent pas non plus d'écarter l'hypothèse que ces différences seraient innées, et donc la cause – plutôt que la conséquence – de cette expertise. Des études longitudinales comparant une population homogène et aléatoirement répartie en deux groupes équivalents suivant différentes conditions d'entraînement sont donc indispensables pour aborder ces questions. De plus, bien que certaines études suggèrent que les différences neuroanatomiques et fonctionnelles observées entre les musiciens et les non musiciens semblent liées à la précocité et à la durée de la formation musicale (par exemple Penhune, Watanabe, & Savion-Lemieux, 2005 ; Watanabe, Savion-Lemieux, & Penhune, 2007), les études longitudinales ont permis de montrer que des effets de plasticité peuvent également être observés à court terme, chez l'enfant comme chez l'adulte. Après 15 mois d'entraînement musical (à raison d'une demi-heure de leçon de piano privée par semaine), des enfants non musiciens de 6 ans ont montré des changements anatomiques dans les aires auditives et motrices, corrélés avec une amélioration de ces habiletés dirigées vers la musique (Hyde *et al.*, 2009). De même, après un an d'apprentissage musical (méthode Suzuki), des enfants non musiciens de 4 à 6 ans présentaient des réponses neuronales (N250) plus précoces dans l'hémisphère gauche à l'écoute de sons de violon comparativement à un bruit de même enveloppe temporelle (Fujioka, Ross, Kakigi, Pantev, & Trainor, 2006). Chez l'adulte, il a été observé chez des étudiants en musique une augmentation de la réponse neuronale de l'hippocampe dans une tâche de discrimination acoustique après un entraînement de deux semestres aux habiletés auditives (comparativement à avant l'entraînement ; Herdener, Esposito, Di Salle, Boller, Hilti *et al.*, 2010). À plus petite échelle encore, et chez des personnes sans formation musicale, deux semaines et demi d'entraînement de discrimination de fréquences (15 sessions à raison d'une par jour, 6 jours par semaine) ont suffit pour observer une augmentation de l'amplitude des potentiels évoqués auditifs N1c et P2 (en particulier dans l'hémisphère gauche pour la N1c, Bosnyak, Eaton, & Roberts, 2004). De même, l'onde MMN dans le cortex auditif était plus large suite à un entraînement de deux semaines à jouer des séquences musicales sur un

piano chez des adultes non musiciens (Lappe, Herholz, Trainor, & Pantev, 2008). Après une semaine d'entraînement intensif de discrimination de fréquences proches, la réponse hémodynamique au niveau du cortex auditif a diminué chez les participants dont les performances perceptives ont progressé (suggérant une facilitation de traitement de ces stimuli ; Jäncke, Gaab, Wüstenberg, Scheich, & Heinze, 2001). Enfin, la suppression de la fréquence 1 kHz dans des pièces musicales écoutées 3 heures par jour pendant 3 jours menait déjà à une diminution de réponse neuronale à cette fréquence (Pantev, Wollbrink, Roberts, Engelien, & Lütkenhöner, 1999). Ces dernières observations chez des sujets adultes montrent que le cerveau reste plastique y compris après maturation (voir Wan & Schlaug, 2010), ce qui est important à considérer dans le cadre de la stimulation ou remédiation cognitive chez l'adulte et la personne âgée.

Résumé

L'écoute ou la pratique musicale soutenue a des répercussions importantes sur la réactivité et l'organisation du cerveau humain. Non seulement le bébé semble naître avec des prédispositions pour le traitement de la musique, mais l'activité musicale a aussi des effets sur le fonctionnement neurophysiologique et l'organisation corticale au niveau anatomique et fonctionnel. De cette manière, la musique active et modifie un grand nombre d'aires cérébrales. On sait aujourd'hui qu'il n'y a pas de « centre cérébral » dédié spécifiquement au traitement de la musique (Altenmüller, 2001). Les différentes composantes de la musique (auditive, temporelle et rythmique, émotionnelle, etc.) requièrent différents systèmes généraux de traitement. Ainsi, l'activité musicale peut impliquer des activations corticales bilatérales des aires auditives, somato-sensorielles, motrices, visuelles et visuo-spatiales, et implique également un large réseau fronto-pariétal. Elle modifie l'anisotropie des fibres de la substance blanche, notamment dans le corps calleux et le faisceau pyramidal. Enfin, au niveau sous-cortical, elle active et modifie également des zones plus archaïques comme le tronc cérébral.

Ainsi, si l'écoute et la pratique musicales influencent la réactivité et l'organisation de zones cérébrales qui ne sont pas spécifiques à l'activité musicale, on peut supposer qu'une activité musicale, en plus de développer les compétences dirigées vers la musique, va en même temps stimuler et faciliter d'autres fonctions cérébrales (Patel, 2010). Cet effet de transfert vers les compétences non musicales s'observe à la fois chez le musicien et le non musicien, dans des activités mentales perceptives, motrices ou cognitives.

MUSIQUE ET COMPÉTENCES NON MUSICALES

La musique comporte différentes composantes, telles que la hauteur fréquentielle, le rythme et la métrique, l'organisation syntaxique. Ces différentes dimensions du stimulus musical résonnent chacune avec une ou plusieurs compétences mentales générales (non spécifiques au traitement de la musique). Par exemple, le traitement de la hauteur s'appuie sur les capacités perceptives auditives, et probablement aussi sur les habiletés spatiales, alors que le rythme est plus étroitement lié aux habiletés motrices, et que le traitement de l'organisation syntaxique semble partager des ressources avec le traitement du langage. L'activité musicale – écoute et/ou pratique – est également fortement basée sur les différentes formes de mémoire (implicite, autobiographique, sémantique, verbale, procédurale). La combinaison de ces composantes musicales donne au signal une valeur émotionnelle (valence et intensité, dynamique). Ainsi, la richesse de la structure du matériel musical permet de stimuler un grand nombre de compétences mentales de manière simultanée, et donc d'améliorer potentiellement à la fois le fonctionnement de chacune, et leur coordination. Un effet facilitateur d'une activité musicale sur une compétence non musicale peut être attribué à l'addition ou l'interaction de ces relations entre composantes musicales et compétences mentales générales chez le sujet normal.

Perception

Du point de vue perceptif, tout d'abord, l'entraînement des musiciens leur permet non seulement de mieux discriminer des caractéristiques musicales, mais leurs compétences auditives sont aussi au service du traitement d'autres types de stimuli auditifs qui partagent des composantes acoustiques similaires. Par exemple, dans une tâche de discrimination de timbres vocaux (voix d'hommes, de femmes, de filles et de garçons ; Chartrand & Belin, 2006), les musiciens obtiennent de meilleures performances que les non musiciens. Ils prennent aussi plus de temps pour donner leurs réponses. Cette observation pourrait être interprétée comme un investissement moindre dans la tâche de la part des non musiciens. Les auteurs suggèrent cependant qu'elle traduirait une stratégie de traitement différente chez les musiciens, plus en profondeur. De plus, les sujets musiciens chanteurs sont ceux qui obtiennent les meilleurs résultats, ce qui suggère un effet d'expertise du traitement auditif de la voix humaine.

De nombreuses autres études se sont intéressées à la supériorité des musiciens pour la perception de changements fins dans des stimuli linguistiques. Dans une étude d'IRMf, Oeschlin et collaborateurs (Oeschlin, Meyer, & Jäncke, 2010) ont observé que les musiciens qui ont l'oreille absolue montraient une activation plus importante du sulcus temporal supérieur dans une tâche de perception de phrases manipulées sur le plan lexical et/ou prosodique. Les auteurs proposent que les modifications neuroanatomiques observées chez les musiciens ne soutiendraient pas uniquement une augmentation des performances du traitement de la musique, mais permettrait aussi des capacités de segmentation acoustiques plus générales.

Les habiletés musicales seraient également corrélées avec les habiletés phonologiques dans l'apprentissage d'une seconde langue (Slevc & Miyake, 2006). D'autres expérimentations montrent qu'il existe une corrélation entre l'expertise musicale et la perception de la prosodie du langage. Les musiciens détectent mieux des incongruités prosodiques fines (augmentation de la fréquence de 35 % en fin de phrase) dans une langue qui leur est étrangère ; ils sont aussi plus rapides (de 300 ms en moyenne) que les non musiciens pour effectuer cette tâche (Marques, Moreno, Castro, & Besson, 2007). De même, lorsque des musiciens doivent comparer la prosodie de phrases à des mélodies présentées ensuite, ils obtiennent de meilleures performances que les non musiciens, que ce soit pour leur langue maternelle ou une langue étrangère (Thompson, Schellengerg, & Husain, 2003). L'expertise musicale est aussi corrélée avec les habiletés d'apprentissage des langues tonales (où des variations de prosodie donnent des sens différents à un même mot ; Lee & Hung, 2008 ; Marie, Delogu, Lampis, Belardinelli, & Besson, 2011 ; Wong, Skoe, Russo, Dees, & Kraus, 2007). Enfin, les musiciens détectent davantage que les non musiciens les modifications de hauteur permettant de discriminer les énoncés interrogatifs dans leur propre langue (Magne, Schön, & Besson, 2006). Les modifications de perception de la prosodie peuvent subvenir après une courte période : chez des enfants non musiciens de 8 ans, un entraînement musical de 6 mois permettrait déjà un traitement de la prosodie plus sensible (Moreno *et al.*, 2009). Parallèlement, certaines personnes amusiques (présentant un trouble des habiletés musicales perceptives ou productives) peuvent éprouver des difficultés de discrimination de changements prosodiques fins dans des phrases interrogatives (Patel, Wong, Foxton, Lochy, & Peretz, 2008).

Enfin, les musiciens âgés montrent un déclin lié à l'âge moins important dans des tâches de détection de signal manquant ou perception de parole dans le bruit par rapport aux non musiciens vieillissants (Zendel & Alain,

2011). Ces observations montrent donc des liens étroits pour le traitement acoustique de la musique et celui du langage (Besson, Chobert, & Marie, 2011, pour revue).

Les compétences auditives des musiciens sont corrélées à d'autres types de performances perceptives, comme les habiletés visuo-spatiales. Les enfants qui ont suivi un apprentissage musical entre la naissance et l'âge de 7 ans montrent de meilleures performances que des enfants non musiciens aux épreuves de raisonnement spatial de l'échelle Stanford-Binet (Bilhartz, Bruhn, & Olson, 2000). Chez l'adulte, les musiciens qui ont l'oreille absolue sont les meilleurs dans la tâche visuo-spatiale des figures cachées (Costa-Giomi, Gilmour, Siddell, & Lefebvre, 2001). Dans une autre étude (Brochard, Dufour, & Després, 2004), des participants musiciens et non musiciens devaient localiser un point lumineux par rapport à une ligne de référence présente ou absente (condition « imagerie mentale »). Les musiciens ont démontré des temps de réaction inférieurs (en moyenne, 380 ms pour les musiciens contre 440 ms chez les non musiciens), en particulier lorsque la ligne de référence était un axe vertical. Les musiciens commettent aussi moins d'erreurs de localisation que les non musiciens dans la condition « imagerie mentale ». Ces observations peuvent être expliquées par le fait que les habiletés spatiales semblent jouer un rôle dans le codage de la hauteur des notes. Par exemple, l'identification de la hauteur de deux sons grave ou aigu est facilitée si le son aigu correspond à une touche située au-dessus de la touche correspondant au son grave (et non l'inverse), et ce y compris chez les non musiciens. Ces observations suggèrent que la représentation des notes, tout comme la représentation des chiffres, est spatialement (et verticalement) organisée (voir par exemple Lidji, Kolinsky, Lochy, & Morais, 2007 ; Rusconi, Kwan, Giordano, Umilta, & Butterworth, 2006).

Motricité

Sur le plan moteur, les études chez les musiciens mettent en évidence un rapport direct entre la fonction motrice entraînée et le transfert de compétences sur des tâches non musicales utilisant les mêmes ressources. Par exemple, Jäncke et collaborateurs (Jäncke, Schlaug, & Steinmetz, 1997) ont montré que les musiciens (pianistes) droitiers, démontraient une asymétrie bimanuelle (mesurée avec un questionnaire de latéralité manuelle) moins importante que les non musiciens droitiers, du fait de l'entraînement de leur main gauche dans leur pratique musicale. L'étude montrait aussi de meilleures performances chez les pianistes que chez les musiciens d'instruments à cordes dans une tâche de *tapping* (c'est-à-dire,

taper du doigt en rythme avec une stimulation auditive régulière ; voir par exemple Drake, Penel, & Bigand, 2000), suggérant là encore un effet spécifique de l'entraînement. Chez l'enfant, les capacités de motricité fines, évaluées par le *Bruinsky-Oseretsky Motor Proficiency Test*, étaient améliorées après 2 années d'apprentissage du piano (comparativement à un groupe contrôle ne suivant pas cet entraînement ; Costa-Giomi, 2005), en particulier pour le subtest de rapidité de la réponse motrice. Il est cependant difficile ici de déterminer la spécificité de la musique dans cet effet. Afin de tester cette question, il serait important que le groupe contrôle soit actif, et suive un autre type d'entraînement, afin de dissocier l'effet de la musique de l'effet simple d'un entraînement moteur ou même d'un entraînement quelconque (*effet Hawthorne*).

Les liens entre musique et motricité sont également bien documentés chez les sujets non musiciens. En 1888, Nietzsche disait *We listen to music with our muscles*. En effet, certains extraits musicaux favoriseraient la tonicité du corps et l'amélioration spontanée de la posture (Forti, Filipponi, Di Berardino, Barozzi, & Cesarani, 2010). De nombreuses études se sont intéressées à la composante rythmique, et la capacité de synchronisation avec une stimulation musicale. Suivre un rythme est une habileté très robuste d'un individu à l'autre (Patel, Iversen, Chen, & Repp, 2005) et peu de cas de personnes arythmiques ont été rapportés (Overy & Turner, 2009 ; voir Phillips-Silver *et al.*, 2011, pour une étude de cas). De plus, le corps se synchronise de manière automatique avec un son régulier (Molinari, Leggio, De Martin, Cerasa, & Thaut, 2003), jusqu'à, par exemple, synchroniser sa respiration à un rythme musical (Haas, Distenfeld, & Axen, 1986). Les mécanismes de coordination et de maintien en phase avec le tempo sont particulièrement précis, et ce processus de synchronisation est lié de manière robuste avec la modalité auditive. Par exemple, pour différents patterns rythmiques, la synchronisation du *tapping* est plus précise et mieux maintenue pour un rythme auditif qu'un rythme visuel (flash lumineux ; Patel *et al.*, 2005 ; Repp & Penel, 2004). De plus, la simple écoute d'un pattern rythmique active des zones cérébrales motrices, y compris lorsque les sujets n'ont aucune tâche motrice à effectuer durant cette stimulation (Brown, Martinez, & Parsons, 2006 ; Chen, Penhume, & Zatorre, 2008). L'influence d'une stimulation auditive rythmée sur la marche semble d'autant plus importante si cette stimulation est musicale (plutôt qu'un rythme seul joué par un métronome) : à cadence égale, les participants font des pas plus grands quand ils synchronisent leur démarche dans la condition musicale (Styns, Van Noorden, Moelants, & Leman, 2007). La musique, via l'entraînement moteur ou la capacité de synchronisation avec un rythme auditif, peut donc stimuler la motricité

et les mouvements dirigés vers un but non musical (tels que la dextérité manuelle ou la marche).

Langage

L'activité musicale n'est pas seulement motrice, elle est aussi étroitement en lien avec plusieurs compétences cognitives. Beaucoup d'études ont cherché à montrer les similarités et différences entre son traitement et celui du langage. Plusieurs cas de double dissociation ont été observés lors d'atteintes du langage (aphasie) et des habiletés musicales (amusie), suggérant un niveau d'indépendance entre ces deux compétences (pour des revues, voir Peretz, 2002, 2009). Pourtant, il a également été démontré que le traitement de la musique et celui du langage partagent un certain nombre de ressources neuronales (Callan *et al.*, 2006 ; Koelsch, 2005 ; Tillmann *et al.*, 2006 ; voir toutefois Rogalsky, Rong, Saberi, & Hickok, 2011, pour une position divergente). Ces liens expliqueraient qu'un entraînement effectué sur un stimulus musical puisse avoir un effet facilitateur sur le traitement d'un stimulus linguistique.

Au niveau fonctionnel, des liens ont été montrés entre les habiletés musicales et plusieurs aspects du langage, qui vont au-delà des effets purement perceptifs (décrits ci-dessus). Moreno et collaborateurs (2009) ont mis en évidence une amélioration de la lecture de mots complexes après un entraînement musical de 6 mois chez des enfants non musiciens de 8 ans (voir aussi Butzlaff, 2000, pour une méta-analyse sur la corrélation entre les habiletés musicales et de lecture chez l'enfant). Dans une étude antérieure chez des enfants de 4 et 5 ans (Anvari, Trainor, Woodside, & Levy, 2002), des relations étroites ont été trouvées entre les habiletés musicales et des épreuves de conscience phonologique, qui impliquent la possibilité de segmenter et manipuler les sons de la langue.

À un niveau basique de l'acquisition du langage, l'apprenant doit segmenter les flux de discours continu (phrases entendues dans le langage parlé) en unités pertinentes (mots qui les composent ; voir Saffran, Newport, & Aslin, 1996). Or, un flux chanté est plus facile à segmenter qu'un flux parlé, si la mélodie utilisée est cohérente avec l'organisation des unités qui le composent (Schön *et al.*, 2008). La structure musicale semble donc à même de supporter l'organisation linguistique et d'en renforcer sa compréhension par le sujet.

Enfin, musique et langage sont deux systèmes syntaxiques, c'est-à-dire organisés selon une structure séquentielle hiérarchique. Plusieurs études, notamment en neuroimagerie, montrent un chevauchement des traitements syntaxiques effectués pour la musique et pour le langage. Par exemple, des réponses très similaires sont observées en réaction

à une incongruité de syntaxe dans les deux domaines (Patel, Gibson, Ratner, Besson, & Holcomb, 1998). Les musiciens adultes répondent également aux violations syntaxiques musicales par une ERAN plus ample (réponse électrophysiologique, localisée dans l'hémisphère droit, correspondant au traitement cognitif d'une violation syntaxique musicale ; Miranda et Ullman, 2007), ainsi qu'aux violations syntaxiques linguistiques par une ELAN plus marquée (réponse homologue pour les stimuli linguistiques, localisée dans l'hémisphère gauche ; Friederici et Kotz, 2003). Les localisations cérébrales de ces patterns de réponses correspondent aux spécialisations hémisphériques du traitement des signaux auditifs (typiquement : traitement temporel rapide à gauche, crucial dans la compréhension des stimuli linguistiques, et traitement spectral à droite, fondamental pour le traitement mélodique ; voir Koelsch *et al.*, 2001), mais la similarité de la réponse observée suggère un même mécanisme pour le traitement des incongruités de syntaxe dans les deux domaines. Les mêmes réponses électrophysiologiques sont retrouvées chez des enfants de 10-11 ans (Jentschke & Koelsch, 2009).

La mise en évidence de processus communs entre musique et langage est également pertinente pour comprendre les bases du traitement de ces deux stimuli, alimentant le débat de leur fonctionnement partagé *versus* modulaire (indépendant). Les liens objectivés remettent notamment en cause le caractère encapsulé (indépendant ou imperméable) de ces traitements spécifiques (comme le codage de la hauteur tonale ; Peretz, 2006). Les travaux actuels contribuent à déterminer la part de partage et de spécificité pour ces deux types de traitement (pour une discussion autour de cette question, voir Patel, 2008a ; Peretz, 2009). Patel (2011) propose que le transfert entre un entraînement musical et les habiletés de traitement linguistique est observé lorsque l'entraînement est répété, porte sur des habiletés complexes, dont le traitement est commun aux deux domaines (facteurs acoustiques), et lorsque la musique favorise l'attention et la motivation du sujet (hypothèse *OPERA*).

Mémoire

Les liens entre la musique et la mémoire (non musicale) sont multiples et peuvent s'observer dans différents registres de mémoire. Des effets de transfert de l'expertise musicale sur du matériel non musical ont été observés en mémoire verbale, pour laquelle les musiciens montrent de meilleures performances que les non musiciens, chez l'adulte (Brandler & Rammsayer, 2003 ; Chan, Ho, & Cheung, 1998) et chez l'enfant (Ho, Cheung, & Chan, 2003).

L'idée que la musique puisse servir de moyen mnémotechnique pour l'acquisition d'autres informations a une longue histoire. Au Moyen Âge, les ménestrels transmettaient l'histoire à travers des chansons (Calvert & Tart, 1993 ; Rubin, 1995). Aujourd'hui encore, dans certaines sociétés traditionnelles, on véhicule via la musique la mémoire de l'historique culturel qui contribue à l'identité du groupe social (Bonini-Baraldi, 2008). À l'école, les enfants apprennent l'alphabet chanté, et plusieurs auteurs ont proposé des procédures d'apprentissage musicales, par exemple, un karaoké pour apprendre les règles de la physique (Dickson & Grant, 2003), ou l'utilisation du chant pour l'acquisition d'une seconde langue (Medina, 1993). Les études scientifiques qui ont cherché à comparer rigoureusement l'apprentissage de paroles récitées ou chantées montrent néanmoins des résultats divergents (voir par exemple McElhinney & Annett, 1996, *versus* Racette & Peretz, 2007). Il semble que la musique associée à l'élément à mémoriser soit déterminante. En particulier, si la mélodie est trop complexe, ou mal associée aux paroles, sa présence peut alourdir l'apprentissage. Cependant, à long terme, l'avantage de la condition musicale apparaît plus clairement (Calvert & Tart, 1993 ; Rainey & Larsen, 2002). Outre le fait que l'association permet un encodage plus riche et plus profond, la mélodie peut représenter un bon support pour la mémorisation d'un texte car elle attire l'attention sur les caractéristiques de surface du texte (Wallace, 1994). La structure rythmique, l'organisation séquentielle des phrases musicales, les variations de la mélodie, sont autant d'indices qui renseignent sur la structure du texte (longueur des lignes, nombre de syllabes par lignes, nombre de lignes par vers, etc. ; voir aussi Tillmann & Dowling, 2007, pour une étude concernant l'importance du rythme dans la mémorisation à court terme de textes). La structure rythmique facilite également le découpage du texte en unités pertinentes (*chunks*, voir McElhinney & Annett, 1996), ce qui favoriserait le passage des informations en mémoire de travail et en mémoire à long terme. De plus, le lien étroit entre musique, émotions et mémoire peut également rendre compte de cet effet (Nairne, Thompson, & Pandeirada, 2007 ; Sitoh & Tien, 1997). La musique est un moyen privilégié pour véhiculer des émotions, et les émotions auraient un rôle crucial pour la mémorisation (Kensinger & Corkin, 2003) ; utiliser les émotions musicales pourrait donc maximiser les performances de mémorisation (Jäncke, 2008).

Il est également fréquent de pouvoir associer à certaines musiques des événements épisodiques autobiographiques, la musique étant connue pour son fort pouvoir évocateur (Sacks, 2006). Janata et collaborateurs (Janata, Tomic, & Rakowski, 2007) ont testé les souvenirs autobiographiques évoqués par la musique à l'écoute d'un large corpus de musique populaire :

30 % des chansons évoquaient des souvenirs personnels aux participants, à un niveau spécifique ou plus général. Les connaissances sémantiques qui y étaient associées (titre, artiste, époque, paroles) étaient corrélées avec les émotions ressenties pour ces morceaux, surtout chez les personnes les plus âgées (Schulkind, Hennis, & Rubin, 1999).

Effet général sur la cognition

Dans un autre registre cognitif, l'instruction musicale est corrélée positivement à la plupart des subtests d'intelligence (QI global) et au niveau scolaire, avec un effet de la durée de l'apprentissage (voir Schellenberg, 2006, avec une cohorte de 147 enfants âgés de 6 à 11 ans). À plus court terme également, Schellenberg (2004) a montré une amélioration légère mais significative du QI chez 132 enfants de 6 ans après un an de leçons musicales hebdomadaires (comparativement à des cours de théâtre, dans une étude contrôlée et randomisée).

Différentes hypothèses explicatives peuvent rendre compte de ces observations. D'une part, la pratique musicale requiert différents processus non spécifiques et en améliore le fonctionnement et la coordination. D'autre part, les effets bénéfiques observés sur le fonctionnement cognitif et moteur peuvent être expliqués par le fait que la musique peut agir comme un « stimulateur », éveillant l'ensemble de nos compétences. Le point de départ des études sur les effets de l'écoute musicale sur la cognition est celle de Rauscher et collaborateurs (Rauscher, Shaw, & Ky, 1993), qui avançait que l'écoute de la Sonate pour deux pianos en ré majeur K448 de Mozart augmentait à court terme le raisonnement spatial. Popularisé sous le nom d'« effet Mozart », ce résultat a suscité à la fois un engouement social et commercial, et une polémique scientifique. Les études qui ont suivi ont précisé que la musique de Mozart n'est pas spécifiquement reliée aux habiletés spatiales (voir Latendresse, Larivée, & Miranda, 2006, pour une revue portant sur 26 études). Par exemple, ces habiletés étaient améliorées chez des adolescents suite à l'écoute musique populaire (comparativement à l'écoute de Mozart ou à du silence ; Schellenberg & Hallam, 2005). En revanche, une musique plus triste (composition d'Albinoni) ne suscite pas d'amélioration de performances (Thompson, Schellenberg, & Husain, 2001). Il semble donc que l'effet observé soit davantage relié à la dimension psychoaffective et dynamique de l'œuvre (Steele *et al.*, 1999). De plus, les effets positifs observés peuvent porter sur différentes tâches et fonctions cognitives. Par exemple, chez des enfants japonais, l'écoute de comptines traditionnelles a mené à une plus grande créativité dans les dessins effectués (Schellenberg, Nakata, Hunter, & Tamoto, 2007). On peut donc

en conclure qu'une musique pertinente pour un individu peut améliorer une variété d'habiletés mentales. Ce phénomène peut être expliqué par l'effet émotionnel et physiologique lié à l'écoute musicale (tel que décrit en première partie) ; un état général d'éveil améliorerait de manière aspécifique le fonctionnement de l'individu. Une hypothèse alternative repose sur l'idée que la structure temporelle de la musique favoriserait la rapidité de traitement et le fonctionnement attentionnel (Thaut, Peterson, & McIntosh, 2005).

Résumé

En résumé, la musique semble stimuler de manière générale le fonctionnement cognitif de l'individu en jouant sur le réseau émotionnel et de l'éveil. De plus, le traitement de la musique, de par la richesse de la stimulation musicale et la distribution de son traitement, présente des liens fonctionnels étroits avec d'autres compétences non musicales, et les compétences développées sur un matériel musical peuvent être transférées aux compétences non musicales équivalentes (pour d'autres lectures autour de la notion de transfert des habiletés musicales, voir les revues de Besson *et al.*, 2011 ; Hannon & Trainor, 2007 ; Moreno *et al.*, 2009 ; Koelsch, 2009). L'addition ou l'interaction de ces effets peut expliquer les bénéfices de l'activité musicale observés à différents niveaux sur le fonctionnement cérébral normal. De ce fait, on peut aussi penser que la musique représente un outil pertinent pour la stimulation du fonctionnement cérébral pathologique en réhabilitation.

L'UTILISATION DE LA MUSIQUE COMME OUTIL DE THÉRAPIE

Les vertus thérapeutiques de la musique sont documentées depuis la Grèce antique, Pythagore étant probablement l'un des premiers musicothérapeutes en occident (Jamblique, 2009). Aujourd'hui, la musique est de plus en plus utilisée dans la pratique clinique, auprès de pathologies très variées (comportementales, psychologiques, psychiatriques, neurologiques, sensorielles, motrices, etc.). Mais ces pratiques sont souvent empiriques, et non systématiquement soutenues scientifiquement par un modèle théorique et une validation expérimentale clairs (randomisation, évaluations en aveugle, qualité des groupes contrôles). Nous verrons dans cette partie que certaines études montrent cependant comment les liens entre

composantes musicales et compétences mentales, décrits dans la précédente section, peuvent être utilisés pour la réhabilitation de ces fonctions. De plus, les effets émotionnels et physiologiques de la musique, décrits en première section, sont aussi exploités dans le cadre thérapeutique et ont montré des effets bénéfiques sur les plans de la cognition ou de l'humeur.

Remédiation des troubles auditifs

La richesse acoustique de la musique peut être utilisée dans le cadre de la stimulation sensorielle, et par exemple dans l'entraînement auditif d'enfants malentendants (Abdi, Khalessi, Khorsandi, & Gholami, 2001 ; Rochette & Bigand, 2009). Dans l'étude de Rochette et collaborateurs, les enfants ont été entraînés, à travers différents jeux interactifs, à la discrimination et l'identification de sons, l'analyse de scènes auditives, et à la mémorisation auditive. Les stimuli appartenaient à 4 catégories de sons : sons de l'environnement, voix, sons abstraits et musique. Après 16 semaines, les enfants ont monté des progrès sur les tâches entraînées (sauf en analyse de scène auditive, où la progression était non significative), ainsi qu'un transfert des bénéfices sur du matériel linguistique non entraîné (par exemple, en discrimination phonétique). Cette étude ne comportant pas de groupe contrôle, une troisième session de mesure a été menée 6 mois plus tard, afin d'identifier les effets de maturation naturelle qui auraient pu être la cause des améliorations de performance constatées. Pour la plupart des mesures (identification et discrimination sur le matériel entraîné, ainsi qu'en discrimination phonétique) les scores ont augmenté avec l'entraînement, puis sont restés constants dans les 6 mois suivants, ce qui montre que les améliorations étaient bien dues à l'entraînement, et que les progrès acquis ont été maintenus à long terme. Seule la mesure de mémoire auditive montre une diminution entre la fin de l'entraînement et la mesure à 6 mois, suggérant qu'une période d'entraînement de 16 semaines, chez des enfants principalement utilisateurs de la langue des signes française, est peut-être trop courte pour obtenir des effets qui soient maintenus à long terme pour cette mesure. Une étude menée actuellement cherche enfin à préciser les effets plus spécifiques du matériel utilisé avec un entraînement exclusivement musical.

Remédiation des troubles sensori-moteurs

Compte tenu de ses liens avec la motricité, la musique représente également un support privilégié pour la réhabilitation des troubles sensori-moteurs. Dans deux études menées successivement (Altenmüller, Marco-Pallares,

Münte, & Schneider, 2009 ; Schneider, Schönle, Altenmüller, & Münte, 2007), des patients victimes d'un accident vasculaire cérébral, non musiciens, ont appris à jouer des gammes et des mélodies simples sur un piano et/ou sur différents éléments d'une batterie électronique reproduisant les notes de la gamme. L'objectif était double : entraîner la motricité digitale (piano) et la motricité plus globale du membre supérieur parétique (batterie). L'entraînement s'est déroulé sur une période de 3 semaines (15 séances), en plus des séances de thérapie traditionnelle. Après apprentissage, les patients entraînés étaient plus rapides, plus précis et avaient des gestes plus continus que ceux qui n'avaient pas suivi cet entraînement (thérapie traditionnelle seulement). Ils rapportaient également moins de problèmes moteurs dans la vie quotidienne. De plus, ces effets d'amélioration de performances semblaient liés à des modifications de patterns EEG dans le cortex moteur (Altenmüller *et al.*, 2009). Toutefois, il est difficile de conclure que les progrès manifestés par les patients soient directement imputables à l'utilisation de la musique plutôt qu'aux effets d'une pratique motrice bimanuelle, qui s'oppose à l'approche traditionnelle d'immobilisation du membre valide. De plus, les participants du groupe expérimental ont reçu plus d'entraînement que ceux du groupe contrôle. Les futures études devront donc comparer l'apport de la musique dans la remédiation des troubles sensori-moteurs avec d'autres stratégies, comme par exemple l'utilisation de jeux vidéos ou autres entraînements ludiques requérant la même motricité digitale fine et bimanuelle, et à quantités d'entraînement égales.

D'autres résultats intéressants ressortent des études portant sur la maladie de Parkinson et la remédiation de la marche (voir Lim *et al.*, 2005, pour revue). La vélocité et la cadence de la démarche ainsi que la longueur des pas effectués sont améliorées par l'utilisation d'un indiçage auditif régulier lors de la marche (Thaut *et al.*, 1996). Les meilleures performances pour les sujets parkinsoniens traités ou non traités pharmacologiquement sont obtenues lorsque la marche est synchronisée avec une stimulation auditive rythmique plus rapide de 10 % par rapport à leur cadence de base (McIntosh, Brown, Rice, & Thaut, 1997). La composante rythmique de la musique peut donc jouer un rôle déterminant de réactivation du système moteur. De plus, la synchronisation avec une source auditive permettrait de ramener la production motrice à un niveau plus automatique, connu pour être mieux préservé que la production contrôlée chez les patients cérébrolésés. Notons cependant que la plupart de ces études utilisent un indiçage rythmique auditif de type métronome, et non une réelle stimulation musicale. L'étude de Satoh et Kuzuhara (2008) est axée sur l'utilisation de la musique et montre de la même manière que la marche

des patients Parkinsoniens s'améliore lorsque les sujets ont été entraînés à chanter mentalement en se déplaçant ; l'étude manque toutefois d'un groupe contrôle pour objectiver l'effet spécifique de cet entraînement.

D'autres travaux suggèrent un effet délétère de l'écoute musicale sur la marche des patients (voir Brown, De Bruin, Doan, Suchowersky, & Hu, 2010) ; cependant, dans cette étude, les extraits utilisés étaient choisis en fonction des préférences musicales des personnes, ce qui n'est pas forcément adapté en terme de rythme et cadence, et probablement plus susceptible de détourner leur attention de l'exercice moteur à effectuer.

Remédiation des troubles du langage

Les composantes rythmique et mélodique de la musique sont également utilisées dans la remédiation du langage. Notamment, la MIT (*Melodic Intonation Therapy*) est une technique qui vise à améliorer la production verbale des personnes aphasiques (Sparks & Holland, 1976). Elle se base sur l'observation que certains patients aphasiques prononcent plus facilement des mots en chantant qu'en parlant, en particulier s'ils les produisent à l'unisson avec un modèle (Racette, Bard, & Peretz, 2006). Dans la MIT, on utilise le chant à l'unisson comme point de départ pour entraîner la production de phrases, revenant ensuite progressivement à une production parlée autonome (l'étape intermédiaire étant le parlé-chanté, ou *Sprechgesang*). De plus, le battement du rythme avec la main accompagne la production vocale. Cette stratégie se montre plus efficace que l'entraînement à la simple répétition de phrases, en particulier dans les mesures à long terme (jusqu'à 5 semaines après thérapie ; Wilson, Parsons, & Reutens, 2006). Différentes hypothèses peuvent expliquer l'effet bénéfique de cette technique. Outre le plaisir des patients à chanter, il semble que la synchronisation rythmique avec un modèle facilite la production, probablement via une interface auditivo-motrice favorisant là encore l'automaticité de la production. Des recherches récentes ont aussi montré que le chant engage un réseau fronto-temporal bilatéral, impliqué dans le contrôle des mouvements oro-faciaux et articulatoires (Meister, Buelte, Staedtgen, Boroojerdi, & Sparing, 2009). Une autre hypothèse explicative concernerait l'activation de neurones miroirs, impliqués dans la perception et la compréhension d'actions motrices et dans des processus cognitifs plus complexes comme l'imitation et le langage.

Enfin, chez des enfants dyslexiques, des exercices musicaux (dont le chant) pratiqués pendant 15 semaines, ont permis d'améliorer les mesures de reproduction de structures rythmiques (*tapping*), de traitement auditif

rapide et de conscience phonologique, domaines toujours identifiés comme déficitaires dans cette population (Overy, 2003 ; voir Habib & Besson, 2008, pour une discussion de l'utilisation de la musique pour la remédiation du langage chez l'enfant).

Remédiation des troubles mnésiques

Les liens entre musique et mémoire autobiographique sont souvent exploités dans le domaine de la démence, dans les thérapies dites de « réminiscence ». L'idée est que l'écoute de certains morceaux musicaux correspondant à une période de vie de l'individu permet souvent la remémoration d'événements vécus, et parfois l'accès à certains détails reliés à ces événements. Une étude comparative (Irish *et al.*, 2006) a mis en évidence, chez 10 patients en stade léger à modéré de la maladie d'Alzheimer, une augmentation du score au test AMI (*Autobiographical Memory Interview*) accompagnée d'une baisse de l'anxiété dans une situation de remémoration musicale, par opposition à une condition « silence ». De plus, cet effet est plus marqué pour les souvenirs anciens (Foster & Valentine, 2001). L'étude de Janata (2009) suggère que le cortex préfrontal médial serait impliqué dans l'intégration d'extraits musicaux à des souvenirs autobiographiques. Or, cette structure semble relativement préservée dans les premiers stades de la maladie d'Alzheimer, ce qui peut expliquer pourquoi ces patients répondent positivement à la présentation de mélodies reliées à leur passé (en particulier à leur passé lointain). Par contre, dans l'étude Foster & Valentine (2001), le même effet est observé avec un environnement bruyant non musical (cafétéria ; comparativement à une troisième condition silencieuse). Les prochaines études devront donc préciser la spécificité de la musique dans cet effet et les mécanismes qui le sous-tendent (effet simple de stimulation et d'éveil, ou liens spécifiques entre musique et mémoire autobiographique).

D'autre part, de nombreuses anecdotes ont été rapportées concernant la préservation relative de la mémoire musicale dans la démence. Les études scientifiques montrent toutefois que le pattern d'altération de la mémoire musicale semble suivre le déclin mnésique global (voir Baird & Samson, 2009, pour une revue dans la maladie d'Alzheimer, ainsi que Halpern & Bartlett, 2002, pour une revue dans le vieillissement normal). La composante épisodique de la mémoire musicale est la plus rapidement altérée. La mémoire sémantique – sentiment de familiarité à l'écoute d'airs connus – serait mieux préservée dans les stades débutants et dans certains cas de stades plus avancés (voir par exemple Cuddy & Duffin,

2005). La mémoire procédurale musicale serait préservée le plus longtemps, certains musiciens étant toujours aptes à jouer de leur instrument malgré la maladie, y compris en stade avancé (par exemple, Beatty, Salmon, Butters, Heindel, & Granholm, 1988), et même à apprendre de nouvelles pièces (Cowles *et al.*, 2003). Des études plus récentes ont montré que d'autres patients non musiciens sont également capables de reconnaître de nouveaux extraits instrumentaux entendus deux mois auparavant, ce qui n'est pas le cas pour des nouveaux extraits verbaux (histoires ou poèmes ; Samson, Dellacherie, & Platel, 2009). D'autres observations (Platel, en préparation) montrent qu'ils peuvent aussi apprendre à chanter de nouvelles chansons ; dans ce cas, la mélodie semble être mémorisée plus rapidement que les paroles. Une interprétation possible de cette observation repose sur le fait que l'ancrage mnésique de la mélodie (informations perceptuelles) requiert davantage les processus de mémoire implicite, mieux préservés dans la démence.

Ces observations sur la mémoire musicale dans la démence sont pertinentes pour la question de l'utilisation mnémotechnique de la musique pour l'acquisition de nouvelles informations chez ces patients. Moussard et collaborateurs (Moussard, Bigand, Belleville, & Peretz, sous presse) ont comparé l'apprentissage et le rappel de textes parlés et chantés par une personne atteinte d'un stade léger de maladie d'Alzheimer. Bien que la condition parlée était plus facilement encodée lors d'un premier apprentissage, le texte chanté a amené à de meilleures performances dans la rétention à long terme de l'extrait. Simmons-Stern et collaborateurs (Simmons-Stern, Budson, & Ally, 2010) ont également montré une supériorité des performances de mémoire pour des chansons (*versus* des textes) dans une tâche de reconnaissance. Les prochains travaux devront confirmer cet effet dans de plus larges échantillons et chercher comment le maximiser d'une part, et l'adapter à la vie quotidienne et aux besoins individuels d'autre part.

Autres effets sur la cognition

D'autres effets moins spécifiques, probablement davantage liés aux effets émotionnels (stimulation, éveil) et physiologiques (hormonaux par exemple) de la musique, peuvent être observés sur différents aspects de la cognition. Des thérapies d'écoute musicale ont permis, par exemple, d'améliorer les habiletés d'orientation chez des patients victimes d'amnésie après traumatisme crânien (Baker, 2001). Une étude de cas dans la maladie d'Alzheimer a montré une amélioration des performances dans une tâche spatio-temporelle après l'écoute de Mozart (comparativement

à du silence, ou même à des chansons populaires des années 1930 ; Johnson, Cotman, Tasaki, & Shaw, 1998). Des effets positifs de l'écoute musicale ont également été montrés auprès de patients héminégligents, dans une étude où l'induction d'émotions positives par la musique a permis l'amélioration de l'attention visuelle : la détection de cibles dans le champ négligé était améliorée avec l'écoute des musiques préférées des patients (comparativement à non préférées ou à du silence) pendant ou avant la tâche de détection (Soto *et al.*, 2009). Cette étude, bien que réalisée chez 3 patients seulement, montre l'importance de l'effet d'*arousal* (éveil) et de la valence émotionnelle positive pour l'amélioration des performances cognitives des patients cérébrolésés. Dans une étude contrôlée et randomisée, Särkämö et collaborateurs (2008) ont testé l'effet d'une écoute musicale quotidienne ajoutée à la prise en charge classique durant deux mois, chez des patients ayant subi un accident vasculaire cérébral. Cette condition était contrastée avec une écoute quotidienne d'histoires ou de poèmes récités, et à la seule prise en charge classique. La condition musicale a mené à une amélioration significative des mesures de mémoire verbale et d'attention sélective. De plus, cet effet sur la cognition s'est maintenu trois mois après la fin du protocole. D'autres études montrent un effet positif de thérapies musicales sur différents aspects du langage dans la démence, comme les fluences verbales (Van der Winckel, Feys, De Weerdt, & Dom, 2004), le contenu du discours (Brotons & Koger, 2000), et les comportements de stéréotypie verbale et les palilalies (Casby & Holm, 1994). Ici, la musique n'est pas nécessairement utilisée pour ses liens spécifiques avec le langage (comme dans la technique de MIT évoquée précédemment), mais plutôt pour sa caractéristique émotionnelle, qui assure une meilleure implication dans la tâche à réaliser, un meilleur éveil psychologique et physiologique, et donc un meilleur fonctionnement cognitif global.

Effets sur l'humeur

Ces mêmes effets physiologiques et émotionnels peuvent être à l'origine des effets des thérapies musicales sur l'humeur. Svansdottir et Snaedal (2006) ont montré, chez 38 patients atteints de la Maladie d'Alzheimer en stade modéré à sévère, une réduction de l'agitation et de l'anxiété pour le groupe ayant suivi un programme de musicothérapie (comparativement à un groupe contrôle sans thérapie). L'écoute musicale diminue également l'anxiété, la confusion et la dépression dans les maladies somatiques (Cassileth, Vickers, & Magill, 2003 ; Siedliecki & Good, 2006) ou

neurologiques (Särkämö *et al.*, 2008). Sur le plan du comportement, la musique est beaucoup utilisée dans les stades modérés à avancés de démences pour réduire l'agitation et les comportements agressifs, ainsi que l'apathie (Raglio *et al.*, 2010 ; Svansdottir & Snaedal, 2006). Par ailleurs, les bénéfices les plus significatifs sont observés avec de la musique jouée en direct (comparativement à l'écoute de musique préenregistrée, Holmes, Knights, Dean, Hodkinson, & Hopkins, 2006), ainsi qu'avec de la musique instrumentale (comparativement à du chant vocal seul, Cevasco & Grant, 2003). Une étude pilote (Platel, Moussard, & Francisco, en préparation) a également montré que la musique permettait de faciliter l'activité de toilette chez deux patientes atteintes de la maladie d'Alzheimer en stade sévère, en institution. Pendant 2 semaines, l'activité de toilette a été accompagnée d'une chanson (décrivant les gestes de la toilette) produite vocalement par le soignant ; 4 semaines plus tard, la même procédure a été effectuée pendant 2 semaines avec une récitation du même texte (ou inversement pour la seconde patiente). Les résultats ont montré que la chanson (et non le même texte récité) était bénéfique pour les deux patientes à la fois sur le plan des capacités et de l'investissement dans l'activité (sur les mesures d'utilisation du gant, dispersion, oublis, arrêt de l'activité), et sur le plan du vécu de l'activité (sur les mesures d'anxiété, agitation, tristesse, plaintes somatiques, difficultés d'endormissement, sentiment d'échec).

Effets sur la sensation de douleur et les fonctions végétatives

Les effets analgésiques de la musique mis en évidence expérimentalement chez des sujets sains peuvent être utilisés lors de traitements médicaux lourds, comme la chimiothérapie (Ferrer, 2007), la rééducation cardiaque (Mandel, Hanser, Secic, & Davis, 2007), la lombalgie chronique (Guétin, Ginies, Blayac, & Eledjam, 2005), ou lors d'interventions douloureuses (comme la biopsie, Shabanloei, Golchin, Esfahani, Dolatkhah, & Rasoulian, 2010), et chez l'enfant pour différentes maladies physiques (Treurnicht-Naylor, Kingsnorth, Lamont, McKeever, & Macarthur, sous presse). Dans la plupart de ces études, cet effet sur la perception de la douleur est accompagné d'une baisse de l'anxiété (et/ou des indices de dépression), est probablement lié à la régulation du stress par la musique (décrite en première partie), anxiété et stress étant par ailleurs des facteurs connus pour maximiser la sensation de douleur. Ces mêmes mécanismes peuvent également être utilisés pour réguler les fonctions végétatives, comme par

exemple pour améliorer la qualité du sommeil (voir Lai & Good, 2005, chez des personnes âgées).

Aspect relationnel et social

La musique est une activité sociale et peut être utilisée pour des interventions visant à améliorer les aspects de communication, les relations interpersonnelles, et la cohésion sociale. Par exemple, elle permet de maintenir ou rétablir un lien de communication avec les patients déments (Ogay, Ploton, & Menuhin, 1996 ; Sambandham & Schirm, 1995). Norberg et collaborateurs (Norberg, Melin, & Asplund, 2003) ont montré que deux patients sur trois en stade final de démence ont une réaction particulière à la musique, comparativement à une stimulation tactile ou visuelle. La musique montre également des effets bénéfiques dans certains troubles psychiatriques (Wheeler, Shiflett, & Nayak, 2003), la schizophrénie et les troubles de la conscience (Goto, Noda, Ichikawa, & Fujiwarav, 2002 ; Talwar *et al.*, 2006), ou l'autisme (voir Gold, Wigram, & Elefant, 2006, pour une revue). Elle permet par exemple l'amélioration de l'expression des émotions dans certaines de ces pathologies (Oyama *et al.*, 2003). Une étude pilote chez quatre enfants autistes a évalué un programme appelé *Auditory-motor mapping training* (Wan, Demaine, Zypse, Norton, & Schlaug, 2010). Les enfants étaient encouragés à produire vocalement des sons langagiers variant en longueur et intensité. Des images de mots, actions et situations sociales étaient également utilisées. Des instruments à percussion accompagnaient systématiquement les mots ou phrases cibles chantés par le thérapeute. La progression du programme faisait succéder les phases d'écoute passive, chant à l'unisson, chant « encouragé », répétition immédiate et enfin production seule des mots ou phrases cibles. Les quatre enfants ont démontré des progrès dans les relations sociales établies avec leurs pairs. Là aussi, plusieurs variables peuvent expliquer ces résultats, comme la stimulation du système des neurones miroirs, défaillants dans l'autisme (Hadjikhani, Joseph, Snyder, & Tager-Flusberg, 2006). Mais la musique semble surtout liée très fortement à la dimension sociale et de communication interindividuelle. Les enfants, dès l'âge de deux ans et demi, synchronisent leurs productions rythmiques musicales (percussions) de manière plus précise lorsqu'ils sont en condition sociale, c'est-à-dire qu'ils doivent se synchroniser avec une autre personne (comparativement à la synchronisation avec une source auditive enregistrée ou une machine à percussion automatique ; Kirschner & Tomasello, 2009).

Dans le domaine de l'éducation ou de l'intervention psychosociale, la musique est utilisée auprès d'adolescents avec troubles du comportement (Keen, 2004) ou dans le milieu carcéral (Daveson & Edwards, 2001). Les études d'intervention psychosociales manquent généralement de mesures objectives (quantification des résultats, groupes contrôles). Cependant, les rapports émis dans ce champ d'intervention suggèrent encore que cette dimension sociale de la musique est cruciale. L'écoute et la pratique musicale pourraient contribuer au développement de l'empathie en facilitant le décodage des intentions expressives des interlocuteurs et en améliorant la capacité de production de patterns intonatifs des locuteurs (Aziz-Zadeh, Sheng, & Gheytanchi, 2010). D'autres études suggèrent que la capacité à reconnaître les émotions dans les pièces musicales est une excellente mesure de l'intelligence émotionnelle (Resnicow, Salovey, & Repp, 2004). La musique est donc un vecteur de communication unique qui permet de rétablir un lien chez des personnes souvent isolées ou en difficulté relationnelle.

Résumé

Les études qui ont testé le potentiel de la musique comme instrument de thérapie sont nombreuses. Deux grands types d'intervention peuvent être distingués. D'un côté, les approches de type musicothérapie utilisent principalement la musique pour ses effets généraux sur l'humeur, le comportement, la communication, et ont pour objectif d'améliorer le bien-être des patients, ou leur état général d'éveil – et donc parfois indirectement leur fonctionnement cognitif global. Ces approches sont essentielles, en particulier dans un contexte où la musique est parfois un des seuls moyens pour établir un contact avec les patients, comme dans des cas de démence avancée ou dans les troubles envahissants du développement. Bien que non systématiquement mesuré, il est probable que l'effet de la musique dans ce contexte soit dû à son influence sur le système émotionnel et neurophysiologique, régulant l'état psychologique et cognitif entre stimulation et apaisement.

D'un autre coté, certaines approches plus ancrées dans un cadre théorique neuroscientifique et cognitif visent à exploiter les liens spécifiques entre la musique et une fonction altérée ciblée. En plus de l'effet potentiel d'éveil/apaisement cité ci-dessus, la richesse de la composition du stimulus musical, et la distribution de son traitement – impliquant des liens avec d'autres fonctions mentales – lui confèrent un statut privilégié pour la remédiation de différentes pathologies focalisées (pour plus de lectures,

voir par exemple la revue de Koelsch, 2009, les livres édités par Hallam, Cross, & Thaut, 2009 (partie 10), ou Dalla Bella *et al.*, 2009 (partie 6), ou, dans le domaine du vieillissement normal et pathologique, le numéro spécial à venir de la revue *Music Perception*, intitulé « Music, aging and dementia » édité par L. Cuddy, A. Halpern et I. Peretz).

La spécificité de la musique peut être questionnée dans ces deux cas de figure. Par exemple, l'effet de stimulation et d'éveil peut être retrouvé – et montrer des effets similaires sur la cognition – avec des récits (voir l'étude de Nantais & Schellenberg, 1999, utilisant des livres de Stephen King dans cette optique). L'effet plus spécifique de la musique sur une fonction cible peut également être dû à une composante qui se retrouverait dans d'autres matériels que la musique. Par exemple, dans la stimulation de la motricité, l'utilisation du métronome suffit pour l'observation de progrès de la marche chez les patients Parkinsoniens ; l'essentiel de cette stratégie réside donc dans la mise en place d'un rythme auditif, et pas nécessairement musical. De la même manière, dans un autre registre, d'autres types d'activités pourraient favoriser la communication sociale et interindividuelle (par exemple, la pratique du sport). Il se trouve néanmoins que la musique est l'une des stimulations qui incarne le mieux l'expression rythmique auditive, et est l'une des activités les mieux représentatives de la vie en société et du partage interindividuel. Si les mêmes effets peuvent être observés avec d'autres matériels présentant chacun des caractéristiques communes avec la musique, celle-ci reste la mieux placée pour combiner un grand nombre d'avantages démontrés comme utiles dans diverses situations de stimulation ou thérapie.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

La musique est un stimulus riche sur le plan acoustique qui permet de développer des architectures sonores sophistiquées, s'étendant sur des empans temporels qui peuvent être de l'ordre d'un discours. Pendant de nombreuses années, les travaux en sciences cognitives sur la musique se sont focalisés sur les processus de traitement de ces stimuli. La possibilité de manipuler les aspects de l'organisation musicale à de multiples niveaux constituait une opportunité de mieux comprendre le fonctionnement de la cognition auditive (McAdams & Bigand, 1994, pour revue). Dans les 20 dernières années, les recherches en neurosciences cognitives de la musique se sont orientées vers les effets des stimuli musicaux sur le sujet.

Ces études ont mis en évidence l'importante réactivité du cerveau à la musique, notamment sur le plan émotionnel (et système de récompense), et via des modifications significatives des sécrétions hormonales. La musique est également apparue comme un vecteur de plasticité cérébrale anatomique et fonctionnelle chez les musiciens, puis, dans les travaux les plus récents, chez des enfants et des adultes qui débutent une activité musicale.

Un grand groupe d'études a montré que le traitement de la musique fait intervenir des processus généraux dans les registres perceptif, cognitif, émotionnel et moteur, et peut également partager des ressources neuronales avec des domaines de traitement spécifiques (le langage, par exemple). Étant donné qu'il n'existe pas de centre cérébral spécifiquement dédié au traitement de la musique, celle-ci stimule – et modifie – de nombreuses régions corticales et sous corticales dans les deux hémisphères cérébraux, y compris dans des régions cérébrales archaïques et peu enclines à la plasticité, telles que le tronc cérébral. La musique engage donc le sujet dans une expérience relativement unique d'intégration de ces fonctions et de synchronisation des réseaux neuronaux qui y sont associées. La pratique et l'écoute musicales soutenues peuvent avoir des conséquences bénéfiques sur des compétences non musicales, d'ordre perceptif, cognitif (mémoire et langage notamment), émotionnel et social (empathie) et moteur. La musique est donc potentiellement une « technologie transformationnelle » qui peut modifier le fonctionnement psychologique dans ses différentes dimensions, ainsi que les structures neuronales qui portent ce fonctionnement.

Cette « symphonie cérébrale » semble présenter des avantages précieux pour des applications thérapeutiques non médicamenteuses en réhabilitation. Les activations multiples lies à la musique rendent les activités musicales plus résistantes aux atteintes cérébrales et psychologiques (Sacks, 2007), et permettent de recourir à ces activités pour relancer certaines compétences cognitives moins résistantes. Bien qu'encore très jeune et parfois lacunaire sur le plan méthodologique, la recherche actuelle, dont nous avons montré les résultats principaux dans la dernière section de cet article, souligne que les effets positifs de la musique dépassent les simples effets motivationnels ou de régulation de l'humeur, bien documentés par la musicothérapie traditionnelle. L'utilité de la musique pour la remédiation spécifique du langage, de la motricité, ou des stratégies mnésiques commence à être bien établie, tant sur le plan comportemental que neurophysiologique. Ces stratégies de thérapies « neuro-musicales » sont d'autant plus prometteuses qu'elles sont non invasives, peu coûteuses, donc faciles à mettre en place en clinique, et accessibles à tous, y

compris sans formation musicale préalable. Les études sur ces thérapies sont de plus en plus nombreuses, de mieux en mieux contrôlées et axées sur l'explicitation des mécanismes sous-jacents, et de plus en plus souvent élaborées dans une démarche interdisciplinaire soutenue par des innovations technologiques pertinentes. On peut donc s'attendre à observer une évolution des stratégies d'intervention via la musique dans les années à venir.

D'importants enjeux existent notamment pour la prévention des pathologies du vieillissement. L'écoute, et plus encore la pratique de la musique pourrait constituer un excellent moyen d'entretenir et de renforcer les compétences cognitives, motrices, émotionnelles et sociales des séniors et de retarder ainsi les effets du vieillissement. Les travaux sur l'impact de la musique sur le vieillissement cognitif sont encore peu nombreux, mais leurs résultats sont prometteurs. De manière anecdotique, Grant et Brody (2004) ont observé, dans une population de 23 musiciens âgés appartenant au même orchestre, qu'aucun d'entre eux ne semblait atteint de démence. En se basant sur la prévalence statistique de la population démographique correspondante, huit ou neuf de ces personnes « auraient dues » être atteintes de la maladie d'Alzheimer. Des programmes d'activités musicales (chant, écoute et appréciation musicale) ont également entraîné une amélioration de la qualité de vie des personnes âgées (Solé, Mercadal-Brotons, Gallego, & Riera, 2010 ; Wise, Hartmann, & Fisher, 1992), mais ces études manquent de groupe contrôle pour attester de la spécificité de l'entraînement musical dans cet effet. Une autre étude (Bugos, Perlstein, McCrae, Brophy, & Bedenbaugh, 2007) a montré que des leçons de piano hebdomadaires données à des personnes âgées non musiciennes de 60 à 85 ans pendant six mois (avec pratique encouragée entre les séances) ont amélioré leurs performances dans des tests de mémoire de travail et de vitesse de traitement, comparativement à un groupe contrôle qui n'a pas suivi d'entraînement. Bien que l'étude soit randomisée, il est difficile à nouveau de conclure de la spécificité de la musique dans cet entraînement en raison de l'inactivité du groupe contrôle.

La pratique musicale préserverait-elle de la démence ? Ces données sont à confirmer dans des échantillons plus larges et mieux contrôlés, mais elles sont pour autant intrigantes et plausibles à la fois. Cet effet pourrait s'expliquer d'une part par la stimulation générale des fonctions mentales par la musique. Mais aussi, les effets physiologiques et hormonaux provoqués par la musique pourraient jouer un rôle important dans la préservation de la cognition : des résultats positifs ont été observés chez des patients atteints de stade léger de maladie d'Alzheimer en réaction à des traitements médicamenteux hormonaux. Il serait donc intéressant

d'obtenir des effets similaires avec une méthode non invasive (Fukui & Toyoshima, 2008). Nous avons vu d'autre part que la musique est aussi un vecteur important de plasticité cérébrale. Or il a été montré que des phénomènes de plasticité cérébrale et mécanismes compensatoires étaient mis en place dans le vieillissement normal (Cabeza, 2002 ; Logan, Sanders, Snyder, Morris, & Buckner, 2002), et déterminants pour retarder l'expression clinique des dysfonctionnements neurobiologiques de la démence (par exemple, Peters *et al.*, 2009). De plus, il a été montré récemment que ces phénomènes de plasticité peuvent être modulés par l'entraînement cognitif, y compris en stade pré-clinique de démence (*Trouble Cognitif Léger* ; Belleville *et al.*, 2011). Puisque la musique induit une importante réactivité du cerveau et des phénomènes de plasticité (qui peuvent s'observer même à court terme), et fait appel à de nombreuses compétences mentales, elle représente un matériel privilégié pour penser des interventions de stimulation dans le vieillissement normal et pathologique.

Reçu le 29 août 2011.
Révision acceptée le 21 décembre 2011.

BIBLIOGRAPHIE

Abdi, S., Khalessi, M. H., Khorsandi, M., & Gholami, B. (2001). Introducing music as a means of habilitation for children with cochlear implants. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, *59*, 105-113.

Altenmüller, E. O. (2001). How many music centers are in the brain? *Annals New York Academy of Science*, *930*, 273-280.

Altenmüller, E. O., Marco-Pallares, J., Münte, T. F., & Schneider, S. (2009). Neural reorganization underlies improvement in stroke-induced motor dysfunction by music-supported therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*, 395-405.

Amunts, K., Schlaug, G., Jäncke, L., Steinmetz, H., Schleicher, A., Dabringhaus, A., & Zilles, K. (1997). Motor cortex and hand motor skills: Structural compliance in the human brain. *Human Brain Mapping*, *5*, 206-215.

Anvari, S. H., Trainor, L. J., Woodside, J., & Levy, B. A. (2002). Relations among musical skills, phonological processing, and early reading ability in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *83*, 111-130.

Aziz-Zadeh, L., Sheng, T., & Gheytanchi, A. (2010). Common premotor regions for the perception and production of prosody and correlations with empathy and prosodic ability. *PLoS One*, *5*, e8759.

Baird, A., & Samson, S. (2009). Memory for music in Alzheimer's disease: Unforgettable? *Neuropsychology Review*, *19*, 85-101.

Baker, F. (2001). The effects of live, taped, and no music on people experiencing posttraumatic amnesia. *Journal of Music Therapy*, *38*, 170-192.

Beatty, W. W., Salmon, D. P., Butters, N., Heindel, W. C., & Granholm, E. L. (1988). Retrograde amnesia in patients with Alzheimer's disease or Huntington's disease. *Neurobiology of Aging*, *9*, 181-186.

Belleville, S., Clément, F., Mellah, S., Gilbert, B., Fontaine, F., & Gauthier, S. (2011). Training-related brain plasticity in subjects at risk of developing Alzheimer's disease. *Brain.*

Bernardi, L., Porta, C., & Sleight, P. (2006). Cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory changes induced by different types of music in musicians and non musicians: The importance of silence. *Heart*, *92*, 445-452.

Besson, M., Chobert, J., & Marie, C. (2011). Transfer of training between music and speech: Common processing, attention, and memory. *Frontiers in Psychology*, *2*, 1-12.

Besson, M., Schön, D., Moreno, S., Santos, A., & Magne, C. (2007). Influence of musical expertise and musical training on pitch processing in music and language. *Restorative Neurology and Neuroscience*, *25*, 399-410.

Bidelman, G. M., Krishnan, A., & Gandour, J. T. (2011). Enhanced brainstem encoding predicts musicians' perceptual advantages with pitch. *The European Journal of Neuroscience*, *33*, 530-538.

Bigand, E. (2009). L'émotion dans le langage musical. In S. Dehaene, & C. Petit, (Eds.), *Parole et Musique. Aux origines du dialogue humain*. Paris : Odile Jacob-Collège de France.

Bilhartz, T. D., Bruhn, R. A., & Olson, J. E. (2000). The effect of early music training on child cognitive development. *Journal of Applied Developmental Psychology*, *20*, 615-636.

Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *98*, 11818-11823.

Bonini-Baraldi, F. (2008). L'expérience de la musique instrumentale dans les veillées funéraires des Tsiganes de Transylvanie. *Frontières*, *20*, 67-70.

Bosnyak, D. J., Eaton, R. A., & Roberts, L. E. (2004). Distributed auditory cortical representations are modified when non-musicians are trained at pitch discrimination with 40 Hz amplitude modulated tones. *Cerebral Cortex*, *14*, 1088-1099.

Brandler, S., & Rammsayer, T. H. (2003). Differences in mental abilities between musicians and non musicians. *Psychology of music*, *31*, 123-138.

Brochard, R., Dufour, A., & Després, O. (2004). Effect of musical expertise on visuospatial abilities: evidence from reaction times and mental imagery. *Brain and Cognition*, *54*, 103-109.

Brotons, M., & Koger, S. M. (2000). The impact of music therapy on language functioning in dementia. *Journal of Music Therapy*, *37*, 183-195.

Brown, L. A., De Bruin, N., Doan, J., Suchowersky, O., & Hu, B. (2010). Obstacle crossing among people with Parkinson disease is influenced by concurrent music. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, *47*, 225-231.

Brown, S., Martinez, M. J., & Parsons, L. M. (2006). The neural basis of human dance. *Cerebral Cortex*, *16*, 1157-1167.

Bugos, J. A., Perlstein, W. M., McCrae, C. S., Brophy, T. S., & Bedenbaugh, P. H. (2007). Individualized piano instruction enhances executive functioning and working memory in older adults. *Aging & Mental Health*, *11*, 464-471.

Butzlaff, R. (2000). Can music be used to teach reading? *Journal of Aesthetic Education*, *34*, 167-178.

Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: The HAROLD

model. *Psychology and Aging*, *17*, 85-100.

Callan, D. E., Tsytsarev, V., Hanakawa, T., Callan, A. M., Katsuhara, M., Fukuyama, H., & Turner, R. (2006). Song and speech: Brain regions involved with perception and covert production. *Neuroimage*, *31*, 1327-1342.

Calvert, S. L., & Tart, M. (1993). Song versus verbal forms for verylong-term, long-term, and short-term verbatim recall. *Journal of Applied Developmental Psychology*, *14*, 245-260.

Casby, J. A., & Holm, M. B. (1994). The effect of music on repetitive disruptive vocalizations of persons with dementia. *The American Journal of Occupational Therapy*, *48*, 883-889.

Cassileth, B. R., Vickers, A. J., & Magill, L. A. (2003). Music therapy for mood disturbance during hospitalization for autologous stem cell transplantation: A randomized controlled trial. *Cancer*, *98*, 2723-2729.

Cevasco, A. M., & Grant, R. E. (2003). Comparison of different methods for eliciting exercise-to-music for clients with Alzheimer's disease. *Journal of Music Therapy*, *40*, 41-56.

Chan, A. S., Ho, Y. C., & Cheung, M. C. (1998). Music training improves verbal memory. *Nature*, *396*, 128.

Chartrand, J. P., & Belin, P. (2006). Superior voice timbre processing in musicians. *Neuroscience Letters*, *405*, 164-167.

Chen, J. L., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2008). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cerebral Cortex*, *18*, 2844-2854.

Costa-Giomi, E. (2005). *Does music instruction improve fine motor abilities ?* Paper presented at the The Neurosciences and Music II: From Perception to Performance, Leipzig, Germany.

Costa-Giomi, E., Gilmour, R., Siddell, J., & Lefebvre, E. (2001). Absolute pitch, early musical instruction, and spatial abilities. *Annals of the New York Academy of Science*, *930*, 394-396.

Cowles, A., Beatty, W. W., Nixon, S. J., Lutz, L. J., Paulk, J., Paulk, K., & Ross, E. D. (2003). Musical skill in dementia: *a violinist presumed to have Alzheimer's disease learns to play a new song Neurocase*, *9*, 493-503.

Cuddy, L. L., & Duffin, J. (2005). Music, memory and Alzheimer's disease: is music recognition spared in dementia, and how can it be assessed ? *Medical Hypotheses*, *64*, 229-235.

Cunningham, J. G., & Sterling, R. S. (1988). Developmental change in the understanding of affective meaning in music. *Motivation and Emotion*, *12*, 399-413.

Dalla Bella, S., Kraus, N., Overy, K., Pantev, C., Snyder, J. S., Tervaniemi, M., . . . Schlaug, G. (2009). *The Neurosciences and Music III. Disorders and Plasticity* (Vol. 1169). Boston: Annals of the New York Academy of Science.

Dalla Bella, S., Peretz, I., Rousseau, L., & Gosselin, N. (2001). A developmental study of the affective value of tempo and mode in music. *Cognition 80*, B1-B10.

Darwin, C. (1871). *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. London: John Murray.

Daveson, B. A., & Edwards, J. (2001). A descriptive study exploring the role of music therapy in prisons. *The Arts in Psychotherapy*, *28*, 137-141.

Dickson, D., & Grant, L. (2003). Physics karaoke: Why not? *Physics Education*, *4*, 320-323.

Drake, C., Penel, A., & Bigand, E. (2000). Tapping in time with mechanically and expressively performed music. *Music Perception*, *18*, 1-25.

Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., & Taub, E. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, *270*, 305-307.

Ferrer, A. J. (2007). The effect of live music on decreasing anxiety in patients undergoing chemotherapy treatment. *Journal of Music Therapy*, *44*, 242-255.

Flom, R., Gentile, D. A., & Pick, A. D. (2008). Infants' discrimination of happy and sad music. *Infant Behavior & Development*, *31*, 716-728.

Forti, S., Filipponi, E., Di Berardino, F., Barozzi, S., & Cesarani, A. (2010). The influence of music on static posturography. Journal of vestibular research. *Journal of Vestibular Research: Equilibrium & Orientation*, *20*, 351-356.

Foster, N. A., & Valentine, E. R. (2001). The effect of auditory stimulation on autobiographical recall in dementia. *Experimental aging research*, *27*, 215-228.

Fujioka, T., Ross, B., Kakigi, R., Pantev, C., & Trainor, L. J. (2006). One year of musical training affects development of auditory cortical-evoked fields in young children. *Brain*, *129*, 2593-2608.

Fukui, H. (2001). Music and testosterone: A new hypothesis for the origin and function of music. *Annals of the New York Academy of Science*, *930*, 448-451.

Fukui, H., & Toyoshima, K. (2008). Music facilitate the neurogenesis, regeneration and repair of neurons. *Medical Hypotheses*, *71*, 765-769.

Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *The Journal of Neuroscience*, *23*, 9240-9245.

Gold, C., Wigram, T., & Elefant, C. (2006). Music therapy for autistic spectrum disorder. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, *004381*.

Gomez, P., & Danuser, B. (2007). Relationships between musical strucure and psychophysiological measures of emotion. *Emotion*, *7*, 377-387.

Goto, Y., Noda, R., Ichikawa, N., & Fujiwarav, M. (2002). Cerebral circulation of consciousness disorder patient using near-infrared spectroscopic topography during brain rehabilitation by music exercise therapy. *International Congress Series*, *1232*, 549-554.

Grant, M. D., & Brody, J. A. (2004). Musical experience and dementia. Hypothesis. *Aging Clinical and Experimental Research*, *16*, 403-405.

Grape, C., Sandgren, M., Hansson, L., Ericson, M., & Theorell, T. (2003). Does singing promote well-being? An empirical study of professional and amateur singers during a singing lesson. *Integrative physiological and behavioral science: The official journal of the Pavlovian Society*, *38*, 65-74.

Groussard, M., La Joie, R., Rauchs, G., Landeau, B., Chételat, G., Viader, F., ... Platel, H. (2010). When music and long-term memory interact: Effects of musical expertise on functional and structural plasticity in the hippocampus. *PLoS One*, *5*, e13225.

Gruhn, W., Galley, N., & Kluth, C. (2003). Do mental speed and musical abilities interact? *Annals of the New York Academy of Science*, *999*, 485-493.

Guétin, S., Ginies, P., Blayac, J.-P., & Eledjam, J.-J. (2005). Une nouvelle technique contrôlée de musicothérapie dans la prise en charge des douleurs viscérales aiguës et chroniques. *Douleur et Analgésie*, *18*, 19-25.

Haas, F., Distenfeld, S., & Axen, K. (1986). Effects of perceived musical rhythm on respiratory pattern. *Journal of Applied Physiology*, *61*, 1185-1191.

Habib, M., & Besson, M. (2008). Langage, musique et plasticité cérébrale : Perspectives pour la rééducation. *Revue de Neuropsychologie*, *18*, 103-126.

Hadjikhani, N., Joseph, R. M., Snyder, J., & Tager-Flusberg, H. (2006). Anatomical differences in the mirror neuron system and social cognition network in autism. *Cerebral cortex*, *16*, 1276-1282.

Hallam, S., Cross, I., & Thaut, M. (2009). *The Oxford Handbook of Music Psychology*. Oxford, NY: Oxford University Press.

Halpern, A. R., & Bartlett, J. C. (2002). Aging and memory for music: A review. *Psychomusicology*, *18*, 10-27.

Hannon, E. E., & Trainor, L. J. (2007). Music acquisition: effects of enculturation and formal training on development. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*, 466-472.

Herdener, M., Esposito, F., di Salle, F., Boller, C., Hilti, C. C., Habermeyer, B., & Cattapan-Ludewig, K. (2010). Musical training induces functional plasticity in human hippocampus. *Journal of Neurosciences*, *30*, 1377-1384.

Ho, Y. C., Cheung, M. C., & Chan, A. S. (2003). Music training improves verbal but not visual memory: cross-sectional and longitudinal explorations in children. *Neuropsychology*, *17*, 439-450.

Holmes, C., Knights, A., Dean, C., Hodkinson, S., & Hopkins, V. (2006). Keep music live: *music and the alleviation of apathy in dementia subjects International Psychogeriatrics*, *18*, 623-630.

Huron, D. (2001). Is Music an Evolutionary Adaptation? *Annals of the New York Academy of Sciences*, *930*, 43-61.

Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., & Schlaug, G. (2009). Musical training shapes structural brain development. *The Journal of Neuroscience*, *29*, 3019-3025.

Irish, M., Cunningham, C. J., Walsh, J. B., Coakley, D., Lawlor, B. A., Robertson, I. H., & Coen, R. F. (2006). Investigating the enhancing effect of music on autobiographical memory in mild Alzheimer's disease. *Dementia and geriatric cognitive disorders*, *22*, 108-120.

Jamblique (2009). *Vie de Pythagore*.

Janata, P. (2009). The neural architecture of music-evoked autobiographical memories. *Cerebral Cortex*, *19*, 2579-2594.

Janata, P., Tomic, S. T., & Rakowski, S. K. (2007). Characterization of music-evoked autobiographical memories. *Memory*, *15*, 845-860.

Jäncke, L. (2008). Music, memory and emotion. *Journal of Biology*, *7*, 21.

Jäncke, L., Gaab, N., Wüstenberg, T., Scheich, H., & Heinze, H.-R. (2001). Short-term functional plasticity in the human auditory cortex: An fMRI study. *Cognitive Brain Research*, *12*, 479-485.

Jäncke, L., Schlaug, G., & Steinmetz, H. (1997). Hand Skill Asymetry in Professional Musicians. *Brain and Cognition*, *34*, 424-432.

Jentschke, S., & Koelsch, S. (2009). Musical training modulates the development of syntax processing in children. *Neuroimage*, *47*, 735-744.

Johnson, J. K., Cotman, C. W., Tasaki, C. S., & Shaw, G. L. (1998). Enhancement of spatial-temporal reasoning after a Mozart listening condition in Alzheimer's disease: a case study. *Neurological Research*, *20*, 666-672.

Jusczyk, P. W., & Krumhansl, C. L. (1993). Pitch and rhythmic patterns affecting infants' sensitivity to musical phrase structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *19*, 627-640.

Juslin, P. N., & Västfjäll, D. (2008). Emotional responses to music: the need to consider underlying mechanisms. *The Behavioral and brain sciences*, *31*, 559-575.

Keen, A. W. (2004). Using music as a therapy tool to motivate troubled adolescents. *Social Work in Health Care*, *39*, 361-373.

Kensinger, E. A., & Corkin, S. (2003). Memory enhancement for emotional words: Are emotional words more vividly remembered than neutral words? *Memory and Cognition*, *31*, 1169-1180.

Khalfa, S., Dalla Bella, S., Roy, M., Peretz, I., & Blondin, J. P. (2003). Effects of relaxing music on salivary cortisol level after psychological stress. *Annals of the New York Academy of Science*, *999*, 374-376.

Kirschner, S., & Tomasello, M. (2009). Joint drumming: Social context facilitates synchronization in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *102*, 299-314.

Koelsch, S. (2005). Neural substrates of processing syntax and semantics in music.

Current Opinion in Neurobiology, *15*, 1-6.

Koelsch, S. (2009). A neuroscientific perspective on music therapy. *Annals New York Academy of Science*, *1169*, 374-384.

Koelsch, S. (2010). Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in Cognitive Sciences*, *14*, 131-137.

Koelsch, S., Gunter, T. C., Schröger, E., Tervaniemi, M., Sammler, D., & Friederici, A. D. (2001). Differentiating ERAN and MMN: an ERP study. *Neuroreport*, *12*, 1385-1389.

Kraus, N., & Chandrasekaran, B. (2010). Music training for the development of auditory skills. *Nature Reviews. Neuroscience*, *11*, 599-605.

Kreutz, G., Bongard, S., Rohrmann, S., Hodapp, V., & Grebe, G. (2004). Effects of choir singing or listening on secretory immunoglobulin A, cortisol, and emotional state. *Journal of Behavioral Medicine*, *27*, 623-633.

Lai, H. L., & Good, M. (2005). Music improves sleep quality in older adults. *Journal of Advanced Nursing*, *49*, 234-244.

Lamont, A. (2003). *Musical Preference and Musical Memory in the Early Years.* Paper presented at the The Neurosciences and Music.

Lappe, C., Herholz, S. C., Trainor, L. J., & Pantev, C. (2008). Cortical plasticity induced by short-term unimodal and multimodal musical training. *Journal of Neuroscience*, *28*, 9632-9639.

Latendresse, C., Larivée, S., & Miranda, D. (2006). La portée de l'« effet Mozart ». Succès souvenirs, fausses notes et reprises. *Canadian Psychology*, *47*, 125-141.

Lee, C. Y., & Hung, T. H. (2008). Identification of Mandarin tones by English-speaking musicians ans nonmusicians. *Journal of Acoustical Society of America*, *12*, 3235-3248.

Lee, D. J., Chen, Y., & Schlaug, G. (2003). Corpus callosum: musician and gender effects. *Neuroreport*, *14*, 205-209.

Lidji, P., Kolinsky, R., Lochy, A., & Morais, J. (2007). Spatial associations for musical stimuli: A piano in the head? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *33*, 1189-1207.

Lim, I., Van Wegen, E., De Goede, C., Deutekom, M., Nieuwboer, A., Willems, S., . . . Kwakkel, G. (2005). Effects of external rhythmical cueing on gait in patients with Parkinson's disease: A systematic review. *Clinical Rehabilitation*, *19*, 695-713.

Logan, J. M., Sanders, A. L., Snyder, A. Z., Morris, J. C., & Buckner, R. L. (2002). Under-recruitment and nonselective recruitment: Dissociable neural mechanisms associated with aging. *Neuron*, *33*, 827-840.

Magne, C., Schön, D., & Besson, M. (2006). Musician children detect pitch violations in both music and language: Behavioral and electrophysiological approaches. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*, 199-211.

Mandel, S. E., Hanser, S. B., Secic, M., & Davis, B. A. (2007). Effects of music therapy on health-related outcomes in cardiac rehabilitation: A randomized controlled trial. *Journal of Music Therapy*, *44*, 176-197.

Marie, C., Delogu, F., Lampis, G., Belardinelli, M. O., & Besson, M. (2011). Influence of musical expertise on segmental and tonal processing in Mandarin Chinese. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*, 2701-2715.

Marques, C., Moreno, S., Castro, S. L., & Besson, M. (2007). Musicians detect pitch violation in a foreign language better than nonmusicians: Behavioral and electrophysiological evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *19*, 1453-1463.

McAdams, S., & Bigand, E. (1994). *Penser les sons*. Paris: Presses universitaires de France.

McElhinney, M., & Annett, J. M. (1996). Pattern of efficacy of a musical mnemonic on recall of familiar words over several presentations. *Perceptual and motor skills*, *82*, 395-400.

McIntosh, G. C., Brown, S. H., Rice, R. R., & Thaut, M. H. (1997). Rhythmic auditory-motor facilitation of gait patterns in patients with Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *62*, 22-26.

Medina, S. L. (1993). The effect of music on second language vocabulary acquisition. *National Network for Early Language Learning*, *6*, 1-8.

Meister, I. G., Buelte, D., Staedtgen, M., Boroojerdi, B., & Sparing, R. (2009). The dorsal premotor cortex orchestrates concurrent speech and fingertapping movements. *The European Journal of Neuroscience*, *29*, 2074-2082.

Menon, V., & Levitin, D. J. (2005). The rewards of music listening: response and physiological connectivity of the mesolimbic system. *Neuroimage*, *28*, 175-184.

Mitani, C., Nakata, T., Trehub, S., Kanda, Y., Kumagami, H., & Tabasaki, K. (2007). Music recognition, music listening, and word recognition by deaf children with cochlear implants *Ear Hearing*, *28*, 29-33.

Mithen, S. (2005). *The singing Neanderthals: The origins of music, language, mind and body*. London: Weidenfeld and Nicholson.

Mithen, S. (2009). The music instinct: the evolutionary basis of musicality. *Annals of the New York Academy of Science*, *1169*, 3-12.

Molinari, M., Leggio, M. G., De Martin, M., Cerasa, A., & Thaut, M. H. (2003). Neurobiology of rhythmic motor entrainment. *Annals of the New York Academy of Science*, *999*, 313-321.

Moreno, S., Marques, C., Santos, A., Santos, M., Castro, S. L., & Besson, M. (2009). Musical training influences linguistic abilities in 8-year-old children: more evidence for brain plasticity. *Cerebral Cortex*, *19*, 712-723.

Moussard, A., Bigand, E., Belleville, S., & Peretz, I. (in press). Music as an aid to learn new verbal information in Alzheimer's disease. *Music Perception.*

Musacchia, G., Sams, M., Skoe, E., & Kraus, N. (2007). Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*, 15894-15898.

Nairne, J. S., Thompson, S. R., & Pandeirada, J. N. (2007). Adaptive memory: Survival processing enhances retention. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, *33*, 263-273.

Nakata, T., & Trehub, S. (2004). Infants'responsiveness to maternal speech and singing. *Infant Behavior & Development*, *27*, 455-464.

Nakata, T., Trehub, S., Kanda, Y., Shibasaki, A., & Schellenberg, E. G. (2005). Music recognition by Japanese children with cochlear implants. *Journal of Physiological Anthropol. Applied Human Sciences*, *24*, 29-32.

Nantais, K. M., & Schellenberg, E. G. (1999). The Mozart Effect: An Artifact of Preference. *Psychological Science*, *10*, 370-373.

Nietzsche, F. (1888). *Twilight of the Idols and the Anti-Christ: Or how to philosophize with a hammer*: Newer penguin classics, edition 2003.

Norberg, A., Melin, E., & Asplund, K. (2003). Reactions to music, touch and object presentation in the final stage of dementia: an exploratory study. *International Journal of Nursing Studies*, *40*, 473-479.

Oeschlin, M. S., Meyer, M., & Jäncke, L. (2010). Absolute pitch: Fonctinal evidence of speech-relevant auditory acuity. *Cerebral Cortex*, *20*, 447-455.

Ogay, S., Ploton, L., & Menuhin, Y. (1996). *Alzheimer, Communiquer grâce à la musicothérapie.* L'Harmattan.

Overy, K. (2003). Dyslexia and music. From timing deficits to musical intervention. *Annals of the New York Academy of Science*, *999*, 497-505.

Overy, K., & Turner, R. (2009). The rhythmic brain. *Cortex*, *45*, 1-3.

Oyama, A., Arawaka, Y., Oikawa, A., Owanda, H., Oimatsu, H., Obonai, T., & Noda, R. (2003). *Trial of musicokinetic therapy for traumatic patients with prolonged disturbance of consciousness: Two case reports*. In M.Shigemori, & T.Kanno, (Eds.), *Proceedings of the 12th Annual Meeting of the Society for Treatment of Coma*. Tokyo: Society for the Treatment of Coma.

Pantev, C., Oostenveld, R., Engelien, A., Ross, B., Roberts, L. E., & Hoke, M. (1998). Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*, *392*, 811-814.

Pantev, C., Roberts, L. E., Schulz, M., Engelien, A., & Ross, B. (2001). Timbre specific enhancement of auditory cortical representations in musicians. *NeuroReport*, *12*, 169-174.

Pantev, C., Ross, B., Fujioka, T., Trainor, L. J., Schulte, M., & Schulz, M. (2003). Music and learning-induced cortical plasticity. *Annals of the New York Academy of Science*, *999*, 438-450.

Pantev, C., Wollbrink, A., Roberts, L. E., Engelien, A., & Lütkenhöner, B. (1999). Short-term plasticity of the human auditory cortex. *Brain Research*, *842*, 192-199.

Patel, A. D. (2008a). Music and the brain: Three links to language. In S.Hallam, , I.Cross, & M.Thaut, (Eds.), *The Oxford Handbook of Music Psychology*. Oxford University Press.

Patel, A. D. (2008b). *Music, language, and the brain*. New York: Oxford University Press.

Patel, A. D. (2010). *Music, biological evolution, and the brain*. In M.Bailar, (Ed.), *Emerging Disciplines* (pp. 91-144). Houston, TX: Rice University Press.

Patel, A. D. (2011). Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA hypothesis. *Frontiers In Psychology*, *2*, 142.

Patel, A. D., Gibson, E., Ratner, J., Besson, M., & Holcomb, P. J. (1998). Processing syntactic relations in language and music: An event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*, 717-733.

Patel, A. D., Iversen, J. R., Chen, Y., & Repp, B. H. (2005). The influence of metricality and modality on synchronization with a beat. *Experimental Brain Research*, *163*, 226-238.

Patel, A. D., Wong, M., Foxton, J., Lochy, A., & Peretz, I. (2008). Speech intonation perception deficits in musical tone deafness (congenital amusia). *Music Perception*, *25*, 357-368.

Penhune, V., Watanabe, D., & Savion-Lemieux, T. (2005). The effect of early musical training on adult motor performance: evidence for a sensitive period in motor learning. *Annals New York Academy of Science*, *1060*, 265-268.

Perani, D., Saccuman, M. C., Scifo, P., Spada, D., Andreolli, G., Rovelli, R., S., K. (2010). Functional specializations for music processing in the human newborn brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *107*, 4758-4763.

Peretz, I. (2002). Brain specialization for music. *Neuroscientist*, *8*, 372-380.

Peretz, I. (2006). The nature of music from a biological perspective. *Cognition*, *100*, 1-32.

Peretz, I. (2009). Music, language and modularity in action. In P.Rebuschat, , M.Rohrmeier, , J.Hawkins, & I.Cross, (Eds.), *Language and music as cognitive systems*. Oxford University Press.

Peretz, I. (2010). Towards a neurobiology of musical emotions. In P. N.Juslin, & J.Sloboda, (Eds.), *Handbook of Music and Emotion: Theory, research, applications*. Oxford: Oxford University Press

Peretz, I., Gagnon, L., & Bouchard, B. (1998). Music and emotion: perceptual determinants, immediacy and isolation after brain damage. *Cognition*, *68*, 111-141.

Peters, F., Collette, F., Degueldre, C., Sterpenich, V., Majerus, S., & Salmon, E.

(2009). The neural correlates of verbal short-term memory in Alzheimer's disease: an fMRI study. *Brain*, *132*, 1833-1846.

Phillips-Silver, J., Toiviainen, P., Gosselin, N., Piché, O., Nozaradan, S., Palmer, C., & Peretz, I. (2011). Born to dance but beat deaf: A new form of congenital amusia. *Neuropsychologia*, *49*, 961-969.

Plantinga, J., & Trainor, L. J. (2005). Memory for melody : Infants use a relative pitch code. *Cognition*, *98*, 1-11.

Platel, H. (en préparation). Ability to learn new songs in moderate to severe Alzheimer patients.

Platel, H., Moussard, A., & Francisco, J. (en préparation). *Utilisation de la musique pour faciliter l'activité de toilette chez des patients Alzheimer en institution*.

Racette, A., Bard, C., & Peretz, I. (2006). Making non-fluent aphasics speak: *Sing along! Brain*, *129*, 2571-2584.

Racette, A., & Peretz, I. (2007). Learning lyrics: To sing or not to sing? *Memory and cognition*, *35*, 242-253.

Raglio, A., Bellelli, G., Traficante, D., Gianotti, M., Ubezio, M. C., Gentile, S., & Trabucchi, M. (2010). Efficacy of music therapy treatment based on cycles of sessions: a randomised controlled trial. *Aging and Mental Health*, *14*, 900-904.

Rainey, D. W., & Larsen, J. D. (2002). The effect of familiar melodies on initial learning and long-term memory for unconnected text. *Music Perception*, *20*, 173-186.

Rauscher, F. H., Shaw, G. L., & Ky, K. N. (1993). Music and spatial task performance. *Nature*, *365*, 661.

Repp, B. H., & Penel, A. (2004). Rhythmic movement is attracted more strongly to auditory than to visual rhythms. *Psychological research*, *68*, 252-270.

Resnicow, J. E., Salovey, P., & Repp, B. H. (2004). Is recognition of emotion in music performance an aspect of emotional intelligence? *Music Perception*, *22*, 145-158.

Rochette, F., & Bigand, E. (2009). Long-term effects of auditory training in severely or profoundly deaf children. *Annals of the New York Academy of Science*, *1169*, 195-198.

Rogalsky, C., Rong, F., Saberi, K., & Hickok, G. (2011). Functional anatomy of language and music perception: Temporal and structural factors investigated using functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neurosciences*, *31*, 3843-3852.

Roy, M., Peretz, I., & Rainville, P. (2008). Emotional valence contributes to music-induced analgesia. *Pain*, *134*, 140-147.

Rubin, D. C. (1995). *Memory in oral traditions: The cognitive psychology of counting-out rhymes, ballads, and epics*. New York: Oxford University Press.

Rusconi, E., Kwan, B., Giordano, B. L., Umilta, C., & Butterworth, B. (2006). Spatial representation of pitch height: The SMARC effect. *Cognition*, *99*, 113-129.

Sacks, O. (2006). The power of music. *Brain*, *129*, 2528-2532.

Sacks, O. (2007). *Musicophilia*. New York: A. A. Knopf.

Saffran, J. R., Loman, M. M., & Robertson, R. W. (2000). Infant memory for musical experiences. *Cognition*, *77*, B15-B23.

Saffran, J. R., Newport, E. L., & Aslin, R. N. (1996). Word segmentation: The rôle of distributional cues. *Journal of Memory and Language*, *35*, 606-621.

Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neuroscience*, *14*, 257-262.

Sambandham, M., & Schirm, V. (1995). Music as a nursing intervention for residents with Alzheimer's disease in long-term care. *Geriatric Nursing*, *16*, 79-83.

Samson, S., Dellacherie, D., & Platel, H. (2009). *Emotional power of music in patients with memory disorders*. Paper presented

at the The Neurosciences and Music III, Montréal, Canada.

Särkämö, T., Tervaniemi, M., Laitinen, S., Forsblom, A., Soinila, S., Mikkonen, M., & Hietanen, M. (2008). Music listening enhances cognitive recovery and mood after middle cerebral artery strocke. *Brain*, *131*, 866-876.

Satoh, M., & Kuzuhara, S. (2008). Training in mental singing while walking improves gait disturbance in Parkinson's disease patients. *European Neurology*, *60*, 237-243.

Schellenberg, E. G. (2004). Music lessons enhance IQ. *Psychological Science*, *15*, 511-514.

Schellenberg, E. G. (2006). Long-term positive associations between music lessons and IQ. *Journal of Educational Psychology*, *98*, 457-468.

Schellenberg, E. G., & Hallam, S. (2005). Music listening and cognitive abilities in 10 and 11 year olds: The Blur effect. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1060*, 202-209.

Schellenberg, E. G., Nakata, T., Hunter, P. G., & Tamoto, S. (2007). Exposure to music and cognitive performance: Tests of children and adults. *Psychology of Music*, *35*, 5-19.

Schlaug, G. (2003). The brain of musicians. In I.Peretz, & R. J.Zatorre, (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music* (pp. 366-381). New York: Oxford University Press.

Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymetry in musicians. *Science*, *267*, 699-701.

Schlaug, G., Norton, A., Overy, K., & Winner, E. (2005). Effects of music training on the child's brain and cognitive development. *Annals of the New York Academy of Science*, *1060*, 219-230.

Schneider, S., Schönle, P. W., Altenmüller, E., & Münte, T. F. (2007). Using musical instruments to improve motor skill recovery following a stroke. *Journal of Neurology*, *254*, 1339-1346.

Schön, D., Boyer, M., Moreno, S., Besson, M., Peretz, I., & Kolinski, R. (2008). Songs as an aid for language acquisition. *Cognition*, *106*, 975-983.

Schulkind, M. D., Hennis, L. K., & Rubin, D. C. (1999). Music, emotion, and autobiographical memory: They're playing your song. *Memory and Cognition*, *27*, 948-955.

Shabanloei, R., Golchin, M., Esfahani, A., Dolatkhah, R., & Rasoulian, M. (2010). Effects of music therapy on pain and anxiety in patients undergoing bone marrow biopsy and aspiration. *AORN Journal*, *91*, 746-751.

Shahin, A. J., Roberts, L. E., Pantev, C., & Aziz, M. (2007). Enhanced anterior-temporal processing for complex tones in musicians. *Clinical Neurophysiology*, *118*, 209-220.

Shenfield, T., Trehub, S., & Nakata, T. (2003). Maternal singing modulates infant arousal. *Psychology of Music*, *31*, 365-375.

Siedliecki, S. L., & Good, M. (2006). Effect of music on power, pain, depression and disability. *Journal of Advanced Nursing*, *54*, 553-562.

Simmons-Stern, N. R., Budson, A. E., & Ally, B. A. (2010). Music as a memory enhancer in patients with Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, *48*, 3164-3167.

Sitoh, Y. Y., & Tien, R. D. (1997). The limbic system. An overview of the anatomy and its development. *Neuroimaging clinics of North America*, *7*, 1-10.

Slevc, L. R., & Miyake, A. (2006). Individual differences in second-language proficiency: Does musical ability matter? *Psychological Science*, *17*, 675-681.

Solé, C., Mercadal-Brotons, M., Gallego, S., & Riera, M. (2010). Contributions of music to aging adults' quality of life. *Journal of Music Therapy*, *47*, 264-281.

Soto, D., Funes, M. J., Guzmán-García, A., Warbrick, T., Rotshtein, P., & Humphreys, G. W. (2009). Pleasant music overcomes the loss of awareness in patients with visual neglect. *Proceedings of the National*

Academy of Sciences of the United States of America, *106*, 6011-6016.

Sparks, R. W., & Holland, A. L. (1976). Method: Melodic Intonation Therapy for Aphasia. *The Journal of Speech and Hearing Disorders*, *41*, 287-297.

Steele, K., Dalla Bella, S., Peretz, I., Dunlop, T., Dawe, L., Humphrey, G., . . . Olmstead, C. (1999). Prelude or requiem for "The Mozart effect"? *Nature*, *400*, 827-828.

Styns, F., Van Noorden, L., Moelants, D., & Leman, M. (2007). Walking on music. *Human Movement Science*, *26*, 769-785.

Svansdottir, H. B., & Snaedal, J. (2006). Music therapy in moderate and severe dementia of Alzheimer's type: a case-control study. *International Psychogeriatrics*, *18*, 613-621.

Talwar, N., Crawford, M. J., Maratos, A., Nur, U., McDermott, O., & Procter, S. (2006). Music therapy for in-patients with schizophrenia: exploratory randomised controlled trial. *The British Journal of Psychiatry*, *189*, 405-409.

Terwogt, M. M., & Van Grinsven, F. (1988). Recognition of emotions in music by children and adults. *Perceptual and Motor Skills*, *67*, 697-698.

Terwogt, M. M., & Van Grisven, F. (1991). Musical expression of moodstates. *Psychology of Music*, *19*, 99-109.

Thaut, M. H., McIntosh, G. C., Rice, R. R., Miller, R. A., Rathbun, J., & Brault, J. M. (1996). Rhythmic auditory stimulation in gait training for Parkinson's disease patients. *Movement disorders*, *11*, 193-200.

Thaut, M. H., Peterson, D. A., & McIntosh, G. C. (2005). Temporal entrainment of cognitive functions: Musical mnemonics induce brain plasticity and oscillatory synchrony in neural networks underlying memory. *Annals of the New York Academy of Science*, *1060*, 243-254.

Thompson, W. F., Schellenberg, E. G., & Husain, G. (2001). Arousal, mood, and the Mozart effect. *Psychological Science*, *12*, 248-251.

Thompson, W. F., Schellengerg, G. E., & Husain, G. (2003). Perceiving prosody in speech. Effects of music lessons. *Annals of the New York Academy of Science*, *999*, 530-532.

Tillmann, B., & Dowling, W. J. (2007). Memory decreases for prose, but not for poetry. *Memory and Cognition*, *35*, 628-639.

Tillmann, B., Koelsch, S., Escoffier, N., Bigand, E., Lalitte, P., Friederici, A. D., & Von Cramon, D. Y. (2006). Cognitive priming in sung and instrumental music: Activation of inferior frontal cortex. *NeuroImage*, *31*, 1771-1782.

Trainor, L. J. (2008). Science & music: the neural roots of music. *Nature*, *453*, 598-599.

Trainor, L. J., & Heinmiller, B. M. (1998). The development of evaluative responses to music: Infants prefer to listen to consonant over dissonance. *Infant Behavior & Development*, *21*, 77-88.

Trehub, S. E. (2003). The developmental origins of musicality. *Nature Neuroscience*, *6*, 669-673.

Trehub, S. E., & Schellenberg, E. G. (1995). Music: Its relevance to infants. *Annals of Child Development*, *11*, 1-24.

Trehub, S. E., Schneider, B. A., & Henderson, J. L. (1995). Gap detection in childhood. *Journal of Acoustical Society of America*, *98*, 2532-2541.

Treurnicht-Naylor, K., Kingsnorth, S., Lamont, A., McKeever, P., & Macarthur, C. (2011). The effectiveness of music in pediatric healthcare: A systematic review of randomized controlled trials. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine.*

Ukkola-Vuoti, L., Oikkonen, J., Onkamo, P., Karma, K., Raijas, P., & Järvelä, I. (2009). Musical aptitude is associated with AVRP1A-Haplotypes. *PLoS One*, *4*(5), 1-8.

Van der Winckel, A., Feys, H., De Weerdt, W., & Dom, R. (2004). Cognitive and behavioral effects of music-based exercices in patients with dementia. *Clinical rehabilitation*, *18*, 253-260.

Vieillard, S., Peretz, I., Gosselin, N., Khalfa, S., Gagnon, L., & Bouchard, B. (2008). Happy, sad, scary and peaceful musical excerpts for research on emotions. *Cognition and Emotion*, *22*, 720-752.

Vongpaisal, T., Trehub, S., & Schellenberg, E. G. (2006). Song recognition by children and adolescents with cochlear implants. *Journal of Speech Language Hear Research*, *49*, 1091-1032.

Wallace, W. T. (1994). Memory for music: Effect of melody on recall of text. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition 20*, 1471-1485.

Wan, C. Y., Demaine, K., Zypse, L., Norton, A., & Schlaug, G. (2010). From music making to speaking: Engaging the mirror neurons system in autism. *Brain Research Bulletin*, *82*, 161-168.

Wan, C. Y., & Schlaug, G. (2010). Music making as a tool for promoting brain plasticity across the life span. *Neuroscientist*, *16*, 566-577.

Watanabe, D., Savion-Lemieux, T., & Penhune, V. B. (2007). The effects of early musical training on adult motor performance: Evidence for a sensitive period in motor learning. *Experimental Brain Research*, *176*, 332-340.

Wheeler, B., Shiflett, S., & Nayak, N. (2003). Effects of number of sessions and group or individual music therapy on the mood and behaviour of people who have had strokes or traumatic brain injury. *Nordic Journal of Music Therapy*, *12*, 139-151.

Wilson, S. J., Parsons, K., & Reutens, D. C. (2006). Preserved singing in aphasia: A case study of the efficacy of melodic intonation therapy. *Music Perception*, *24*, 23-36.

Wise, G. W., Hartmann, D. J., & Fisher, B. J. (1992). Exploration of the relationship between choral singing and successful aging. *Psychological Reports*, *70*, 1175-1183.

Witvliet, C. V. O., & Vrana, S. R. (2007). Play it again Sam: Repeated exposure to emotionally evocative music polarises liking and smiling responses, and influences other affective reports, facial EMG, and heart rate. *Cognition and Emotion*, *21*, 3-25.

Wong, P. C. M., Skoe, E., Russo, N. M., Dees, T., & Kraus, N. (2007). Musical experience shapes human brainstem encoding of linguistic pitch patterns. *Nature Neuroscience*, *10*, 420-422.

Zendel, B. R., & Alain, C. (2008). Concurrent sound segregation is enhanced in musicians. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *21*, 1488-1498.

Zendel, B. R., & Alain, C. (2011). Musicians experience less age-related decline in central auditory processing. *Psychology and Aging*.